

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Mai 2001 (31.05.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/38820 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01B 9/02, 11/06, G01N 21/45

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH00/00634

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. November 2000 (24.11.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
2146/99 24. November 1999 (24.11.1999) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HAAG-STREIT AG [CH/CH]; Gartenstadtstrasse 10, CH-3098 Köniz (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WAELTI, Rudolf [CH/CH]; Könizstrasse 194j, CH-3097 Liebefeld (CH). SCHMID, Gregor, F. [CH/CH]; Rte de Prinzières, CH-1965 Savièse (CH).

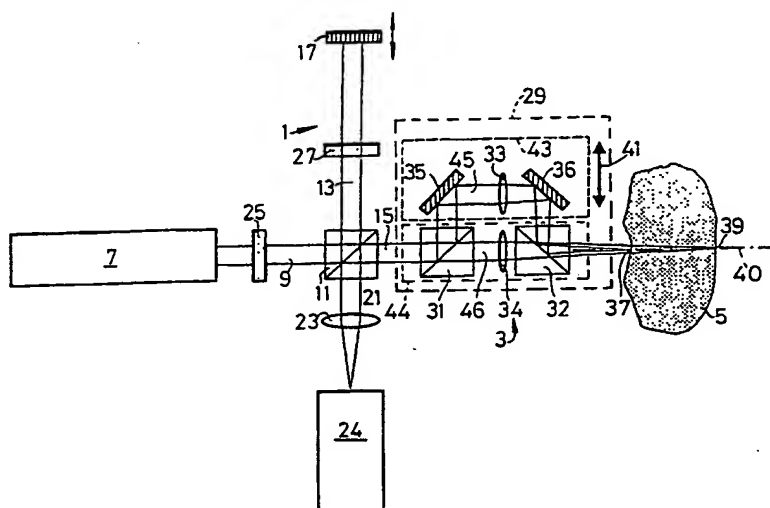
(74) Anwälte: ROSHARDT, Werner, A. usw.; Keller & Partner Patentanwälte AG, Schmiedenplatz 5, Postfach, CH-3000 Bern 7 (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPTICAL PROPERTIES OF AT LEAST TWO REGIONS LOCATED AT A DISTANCE FROM ONE ANOTHER IN A TRANSPARENT AND/OR DIFFUSE OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG OPTISCHER EIGENSCHAFTEN WENIGSTENS ZWEIER VONEINANDER DISTANZIERTER BEREICHE IN EINEM TRANSPARENTEN UND/ODER DIFFUSIVEN GEGENSTAND



(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring the optical properties of at least two regions (37/39) located at a distance from one another in a transparent and/or diffuse object (5) with a measuring period in the subsecond range, the object (5) being irradiated with a number of measuring beams (45, 46) which corresponds to the number of regions. Each two measuring beams have, with the exception of a specific tolerance in relation to each other, an optical path differential, which corresponds to a geometric distance between two respective regions (37, 39). Each reflection beam of the measuring beams reflected from one of said regions (37, 39) is superimposed interferometrically and detected using a third beam (13; 60) which has a temporal, preferably periodic variation in the optical path length.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/38820 A1



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Bei dem Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche (37/39) in einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5) mit einer Messzeit im Subsekundenbereich wird der Gegenstand (5) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46) bestrahlt. Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Toleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, welche einem geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39) entspricht. Jeder von einem der Bereiche (37, 39) reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert und detektiert.

10

Verfahren und Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche in einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand

15

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand sowie deren Verwendung zur Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung. Die Dicken-, Abstands- und/oder Profilmessung wird mittels Kurzkohärenzreflektometrie vorgenommen.

20

Die Transparenz von Gegenständen hängt von deren wellenlängenabhängigen Schwächungskoeffizienten α [cm^{-1}] und deren Dicke bzw. der vorgegebenen Messstrecke d ab. Als transparent werden Gegenstände bezeichnet, deren Transmissionsfaktor $T = \exp(-\alpha \cdot d)$ noch innerhalb des Messbereichs der unten beschriebenen Interferometer liegt, wobei die Transmission T^2 bei den unten beschriebenen Interferometern infolge des "Hin- und Rückweges" der Strahlung ist. In diffusiven Gegenständen

25

wird die Strahlung stark gestreut, nicht notwendigerweise absorbiert. Beispielsweise sind als diffusive Gegenstände Milchglasscheiben, Delrin, organische Gewebe (Haut, menschliche und tierische Organe, Pflanzenteile etc.) anzusehen.

Eine Kurzkohärenzreflektometrie wurde in der Regel für präzise, rasche und nicht-invasive Abbildungen vorgenommen. Typischerweise wurde in einer optischen Anordnung mit einem Michelson-Interferometer der Strahl einer Strahlungsquelle in einen Referenz- und einen Messstrahl mit einem Strahlteiler aufgespalten. In der Regel wurde eine Strahlungsquelle mit einer kurzen Kohärenzlänge ausgewählt. Eine Aufspaltung in Referenz- und Messstrahl sowie deren Wiedervereinigung erfolgte mit einem Strahlteiler und bei Verwendung von Faseroptikwegen mit einem Faserkoppler. Die optische Weglängenänderung im Referenzarm konnte durch Verschieben eines Referenzspiegels auf einer Translationsbühne erreicht werden. Vorteilhafterweise verwendete man jedoch einen rotierenden transparenten Würfel, wie er in der WO96/35100 beschrieben war. Nur wenn der Weglängenunterschied kleiner als die Kohärenzlänge der Strahlung der Strahlungsquelle war, entstand nach der Wiedervereinigung des reflektierten Referenz- und Messstrahls ein Interferenzmuster. Das Interferenzmuster wurde auf einen Photodetektor gebracht, welcher die Strahlungsintensität während der Veränderung der Spiegelposition maß. Da die Frequenz der Strahlung des reflektierten Referenzstrahls wegen der Spiegelverschiebung eine Dopplerverschiebung erfuhr, konnte das Interferenzsignal mit elektronischen Mitteln, wie beispielsweise in der WO99/22198 beschrieben, durch Erhöhung des Signal-Rauschverhältnisses ausgewertet werden.

Messfehler traten jedoch auf, wenn Abstände, welche wenigstens zwei Messvorgänge notwendig machten, in optisch transparenten bzw. eine optische Strahlung diffus transmittierenden Gegenständen gemessen werden sollten und die Gegenstände über dem gesamten Messzyklus innerhalb der geforderten Messtoleranz nur schwer oder nicht ausreichend fixiert werden konnten. Diese Probleme traten insbesondere bei "in-vivo"-Messungen auf.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren vorzustellen sowie eine Vorrichtung

zu schaffen, mit dem bzw. mit der insbesondere bei "in-vivo"-Messungen von Abständen, Dicken, Oberflächenverläufen,..., welche Messungen an unterschiedlichen Orten in einem Gegenstand beinhalten, optimal d.h. mit einer Messfehlerminimierung durchführbar sind.

5 Lösung der Aufgabe

- Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zur Messung optischer Eigenschaften mit einer Messzeit im Subsekundenbereich (notwendig für eine "in-vivo"-Messung) wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand, wie zur Abstands-, Längen-, Dicken- und Profilmessung notwendig, der Gegenstand mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen gleichzeitig oder kurz nacheinander bestrahlt wird. Durch den Ausdruck "bei" einem Gegenstand soll ausgedrückt werden, dass die Bereiche sich an Orten im Gegenstand sowie auch auf dem Gegenstand, z. B. seitlich versetzt befinden können. Jeweils zwei Messstrahlen haben bis auf eine Bestimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz, d. h. einen Laufzeitunterschied. Der Laufzeitunterschied entspricht einem optischen Abstand zweier Raumpunkte (Bereiche) in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung der Messstrahlung, wobei wenigstens einer der Raumpunkte wenigstens geringfügig (typischerweise mindestens $10^{-4}\%$ der Strahlungsintensität) reflektiert. Die Messstrahlen können somit übereinander liegen (Dicken-, Distanz-, Längenmessung), parallel zueinander verlaufen (Oberflächenprofil, ...) oder beliebige Winkel zueinander aufweisen (Dicken-, Distanzmessung, ... bei vorgegebenem Winkel zu einer Referenzfläche). Jeder von einem der Bereiche reflektierte Reflexionsstrahl der Messstrahlen wird mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische, Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl interferierend überlagert detektiert.
- Nach der Vornahme der Wegdifferenz bzw. -differenzen erfolgt vorzugsweise zur Dickenmessung eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzigen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse. Auch kann die Strahlkonfiguration über den Gegenstand, insbesondere periodisch bewegt werden. Es erfolgt hierdurch ein seitliches Abscannen. Dieses Abscannen unter einem Abspeichern der ermittelten Werte kann zur Erstellung von Profilen dienen. Anstelle die beiden Messstrahlen auf einer optischen Achse zu fokussieren, können jedoch auch jeweils wenigstens zwei

Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen und fokussiert werden, um ein Oberflächenprofil zu ermitteln.

Die Messstrahlen haben im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort eine kurze Kohärenzlänge. Die Messstrahlen können ferner jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben. Es müssen dann jedoch mehrere Strahlungsquellen verwendet werden. Man kann auch mit nur einer Strahlungsquelle arbeiten und über Filter eine Aufteilung vornehmen. Hierbei ergibt sich jedoch ein Verlust an Breitbandigkeit; auch müssen einige der Komponenten mit einer aufwendigen Beschichtung versehen werden.

Anstelle von unterschiedlichen Strahlungsfrequenzen bzw. ergänzend hierzu können die Messstrahlen sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, was einen einfacheren Aufbau ergibt. Vorzugsweise wird man auch eine Fokussierung der Messstrahlen in den auszumessenden Bereich bzw. die auszumessenden Bereiche vornehmen. Da mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung gearbeitet wird, kann die augenblickliche Position des reflektierenden Elements im Referenzarm als Referenzort dienen. Es kann nun die tatsächliche Position hierzu verwendet werden oder ein mit dem Referenzort gekoppelter anderer Wert, wie beispielsweise die Verdrehungsposition des in der WO 96/35100 beschriebenen rotierenden Würfels.

Die Messung wird mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren Messarm der optisch transparente und/oder diffusive Gegenstand einbringbar ist, durchgeführt. Anstelle eines optisch transparenten und/oder diffusiven Gegenstands kann auch mit einem Gegenstand gearbeitet werden, dessen Oberfläche reflektierend ist. Bei einem reflektierenden Gegenstand kann mit der erfindungsgemäßen Methode insbesondere dessen Oberflächenprofil ermittelt werden. Der Gegenstand kann jedoch optisch transparent und/oder diffusiv sein und eine (wenigstens einige wenige Prozente) reflektierende Oberfläche haben. In diesem Fall können dann sowohl Oberflächen, wie auch Dicken bzw. deren Verläufe ermittelt werden. Der Referenzarm weist eine Weglängenvariationseinheit auf, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung im Referenzarm durchführbar ist. Im Messarm ist vor dem Gegenstand eine Umwegeinheit angeordnet, mit der wenigstens ein erster Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Laufzeit beaufschlag-

bar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von mindestens zweier im Gegenstand auszumessenden Bereichen wählbar ist. Neben im Gegenstand "hintereinander" liegenden Bereichen (Orte) zur Dickenmessung, können selbstverständlich auch "nebeneinander" liegende Bereich (Ort) zur Bestimmung von Oberflächenkrümmungen, bzw. Oberflächenverläufen ausgemessen werden.

Der Umweg wird näherungsweise derart eingestellt, dass er einem zu erwartenden Messergebnis einer zu bestimmenden Dicke, Abstand, ... bis auf eine Bestimmungstoleranz entspricht. Mit der Wegvariationseinheit im Referenzarm muss dann nur noch der nicht bekannte (zu bestimmende) Anteil der Dicke, des Abstands etc. ermittelt werden. Soll z.B. die tatsächliche Länge eines menschlichen Auges bestimmt werden, so weiß man ja bereits im Vorhinein, dass Augen eine optische Länge von 34 mm mit einer Längentoleranz von ± 4 mm aufweisen. Es kann nun hier ein Umweg auf 34 mm eingestellt und mit der Wegvariationseinheit eine Variation von lediglich 8 mm vorgenommen werden.

Mit der unten beschriebenen Vorrichtung und deren Ausführungsvarianten kann am Auge neben der Augenlänge, die Corneadicke, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke und die Glaskörpertiefe sowie entsprechende Oberflächenprofile gemessen werden. Hierzu wird der für die Augenoberfläche als Gegenstandsoberfläche bestimmte Messstrahl "irgendwo" zwischen der Corneavorderseite und der Linsenrückseite fokussiert. Durch diesen "Kompromiss" kann dann die Reflexion an der Corneavorderseite, der Cornearückseite, der Linsenvorderseite und der Linsenrückseite detektiert werden. Die Distanz zwischen der Cornearückseite und der Linsenvorderseite ist dann die Vorderkammertiefe. Bedingung für diese Messung ist jedoch, dass der "optische" Hub (ca. 8 mm) der Wegvariationseinheit derart groß ist, dass von der Corneavorderseite bis zur Linsenrückseite gescannt werden kann.

Eine einzige Messung verarbeitet somit die Reflexionen an mehreren Bereichen zusammen nahezu gleichzeitig. Um die einzelnen Reflexionen messtechnisch dennoch unterscheiden zu können, haben die Messstrahlen unterschiedliche optische Eigenschaften, wie unterschiedliche Polarisationsrichtung, unterschiedliche Wellenlänge, Man kann jedoch auch mit nicht unterscheidbaren Strahlen arbeiten und durch eine Veränderung des Umwegs die beiden Interferenzsignale zur Deckung bringen. In diesem Fall ist dann der eingestellte Umweg gleich dem gesuchten Abstand, Dicke etc.

Die Verwendung von nicht unterscheidbaren Strahlen führt zu einem Sensitivitätsverlust.

Je nach Anzahl verwendeter Messstrahlen können ein oder mehrere Abstände mit einer Messung bestimmt werden. Die Weglängenänderungen im Referenzarm können, wie in der WO 96/35100 beschrieben, mit einem rotierenden transparenten Würfel vor einem feststehenden Reflektor vorgenommen werden. Ein derartiger Würfel kann problemlos mit über 10 Hz rotieren. D.h. bei den meisten Messungen kann der auszumessende Gegenstand, ohne dass besondere Vorkehrungen für seine Fixierung vorgesehen werden, als in Ruhe befindlich betrachtet werden.

Der Umweg wird mit einer Umweeinheit erzeugt, in der die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels gegenüber einem der Strahlteiler veränderbar ist. Der Strahlteiler und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel sind insbesondere derart zueinander ausgerichtet, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse innerhalb des Gegenstands hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich fokussieren zu können. Eine derartige Anordnung kann zur Dicken-, Längen- und/oder Distanzmessung bzw. zur Messung eines Dicken-, Längen- und/oder Distanzprofils verwendet werden.

In der Vorrichtung wird man vorzugsweise eine Speichereinheit verwenden, in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind. Man wird dann einen Dicken-, Längen- und/oder Distanzwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen aus den abgespeicherten Daten ermitteln.

Weitere Ausführungsvariationen zur Erfindung und deren Vorteile ergeben sich aus dem nachfolgenden Text. Allgemein sei bemerkt, dass die nachfolgend mit Strahlteiler bezeichneten optischen Einheiten eine Strahlteilung aber auch ein Zusammenfügen von zwei Strahlen vornehmen können.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemässen Vorrichtung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist, anhand von Zeichnungen näher

erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein optisches Blockschaltbild einer erfindungsgemässen Vorrichtung,

Fig. 2 eine Variante zur optischen Anordnung in **Figur 1**,

Fig. 3 eine weitere Variante zu den in den **Figuren 1 und 2** dargestellten Vorrichtungen,
5 gen, welche hier jedoch mit zwei unterschiedlichen Zentrumswellenlängen arbeitet,

Fig. 4 ein optisches Blockschaltbild analog **Figur 1**, jedoch zur Ermittlung der Phasenverzögerung in einem doppelbrechenden Material,

Fig. 5 eine Variante zu den in den **Figuren 1 bis 4** dargestellten Vorrichtungen,

10 Fig. 6 eine Hilfsdarstellung zur Erklärung einer Ermittlung eines Oberflächenprofils,

Fig. 7 ein optisches Blockschaltbild einer Ausführungsvariante zur Ermittlung eines Oberflächenprofils zusammen mit diversen Dicken,

Fig. 8 eine vergrößerte Darstellung des in **Figur 7** gezeigten Strahlenganges unmittelbar vor sowie im Auge **147**,

15 Fig. 9 eine schematische Darstellung des in **Figur 7** dargestellten Strahlenganges lediglich für die Randstrahlen der auf die Detektoren **172a** und **172c** fallenden Strahlen,

Fig. 10 ein optisches Blockschaltbild einer Variante der erfindungsgemässen Vorrichtungen, bei der die Strahlung größten Teils in Strahlungsleitern verläuft, wobei
20 die Augenoberfläche zur Darstellung der Auftrefforte der Strahlen um 90° verdreht gezeichnet ist,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Stereomikroskops eines Spaltlampengeräts mit einem Messtrahlengang im Mittelkanal des Mikroskops und

Fig. 12 eine Spaltlampengerät mit einem auf das Mikroskop aufsteckbaren Adapter.

25 **Wege zur Ausführung der Erfindung**

In **Figur 1** ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung dargestellt. Die optische Anordnung hat einen Referenzarm **1** und einen Messarm **3**, in dem der auszumessenden Gegenstand **5** angeordnet ist. Eine Strahlungsquelle **7** sendet einen parallelen

Quellenstrahl 9 mit einer linear polarisierten kurzkohärenten Strahlung aus. Die Kohärenzlänge der Strahlung ist kürzer gewählt als die unten beschriebenen, auszumessenden Abstände im Gegenstand 5. Der von der Strahlungsquelle 7 ausgehende Quellenstrahl 9 wird mit einem die Strahlungspolarisation nicht verändernden physikalischen Strahlteiler 11 in einen Referenz- und einen Gegenstandsstrahl 15 für den Messarm 3 aufgeteilt. Bei einem physikalischen Strahlteiler bleibt gegenüber einem geometrischen der ursprüngliche Strahlquerschnitt erhalten. Es wird die Lichtleistung aufgeteilt, wodurch sich auch dessen Strahldichte ändert. Der Referenzstrahl 13 wird an einer nur schematisch dargestellten, als translatorisch verschiebbaren Spiegel 17 ausgebildeten Weglängenvariationseinheit in sich selbst rückreflektiert. Im Strahlteiler 11 wird er dann mit vom Gegenstand 5 reflektierter Strahlung interferierend überlagert. Diese interferierende Strahlung 21 wird durch Fokussierung mit einer Fokussiereinheit 23 von einem Photodetektor 24 detektiert. Eine andere beispielsweise verwendbare Wegvariationseinheit 17 ist als im Hertzbereich rotierender transparenter Würfel in der WO96/35100 beschrieben und schematisch in Figur 2 in dem dort gezeigten optischen Aufbau integriert. Anstelle eines rotierenden Würfels können selbstverständlich auch andere Weglängenvariationseinheiten verwendet werden. Es kann beispielsweise auch der hier gezeigte translatorisch "hin- und herwackelnde" Spiegel eingesetzt werden. Dieser "wackelnde" Spiegel könnte eine mit einer Spiegelbeschichtung versehene Lautsprechermembran sein. Im Quellenstrahl 9 ist zwischen Strahlungsquelle 7 und Strahlteiler 11 ein Element 25 zur Drehung der Polarisationsrichtung des Quellenstrahls 9 angeordnet. Ein weiteres Element 27 zur Drehung der Polarisationsrichtung ist zwischen Strahlteiler 11 und Weglängenvariationseinheit 17 angeordnet. Die Elemente 25 und 27 sind hier als sogenannte $\lambda/2$ - bzw. $\lambda/4$ Platten (Viertelwellenlängen-Platte) ausgebildet.

Im Messarm 3 ist vor dem Gegenstand 5 eine Umwegeinheit 29 eingesetzt. Die Umwegeinheit 29 hat zwei polarisationssensitive Strahlteiler 31 und 32, zwei Fokussiereinheiten, welche symbolisch durch die Linsen 33 und 34 dargestellt sind, sowie zwei Umlenkspiegel 35 und 36. Da in dem hier ausgeführten Beispiel die Tiefe des transparenten Gegenstands 5 bestimmt werden soll, ist die Brennweite der Fokussiereinheit 33 derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsvorderfläche 37 liegt. Die Brennweite der Fokussiereinheit 34 ist derart gewählt, dass deren Brennpunkt auf der Gegenstandsrückseite 39 liegt. Das optische Teilsystem 43 [► Umlenkspiegel 35 –

Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36 ◀] ist parallel zum optischen Teilsystem 44 [▶ Strahlteiler 31 – Linse 34 – Strahlteiler 32 ◀], wie durch den Pfeil 41 angedeutet, verschiebbar. Der optische Weg, der durch das Teilsystem 43 laufende Strahlung ist durch eine Verschiebung in Pfeilrichtung 41 veränderbar. Da die Messstrahlung im
5 bzw. auf dem Gegenstand 5 reflektiert wird, werden die optischen Teilsysteme 43 und 44 zweimal durchlaufen. Die optische Wegdifferenz (nur Hin- oder Rückweg) wird nun derart eingestellt, dass sie dem im Gegenstand 5 auszumessenden optischen Abstand, hier der optischen Gegenstandstiefe, ungefähr entspricht.

Für die nachfolgende Beschreibung des Messverfahrens wird die Wirkungsweise der $\lambda/2$ - bzw. $\lambda/4$ Platten 25 und 27 vorerst außer Acht gelassen. Der von der Strahlungsquelle 7 ausgesandte, linear polarisierte Quellenstrahl 9 trifft auf den Strahlteiler 11 und wird von diesem in gleiche Teile für den Referenz- und den Messarm 1 und 3 als Referenz- und Gegenstandsstrahl 13 und 15 aufgeteilt. (Eine Aufteilung in gleiche Teile ist jedoch nicht zwingend notwendig.) Die Strahlteiler 31 und 32 sind als polarisierende Strahlteiler ausgebildet. Der Strahlteiler 31 ist nun derart ausgebildet und orientiert, dass der durch den Strahlteiler 11 geteilte polarisierte Quellenstrahl 9 mit der nun halben Strahlungsintensität als Gegenstandsstrahl 15 mit einer Polarisationsrichtung unter 45° auf den Strahlteiler 31 trifft. Hier wird der Gegenstandsstrahl 15 in zwei Messstrahlen 45 und 46 aufgeteilt, deren Polarisations Ebenen nun 90° gegeneinander gedreht liegen. Der unter 45° polarisierte Referenzstrahl 13 enthält somit diese beiden Polarisationsrichtungen. Immer wenn eine Interferenz detektierbar ist, ist die Länge des optischen Weges ▶ Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Fokussiereinheit 34 – Strahlteiler 32 – Gegenstandsrückseite 39 und wieder zurück ◀ gleich lang wie derjenige Weg, den der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 durchläuft, wobei die optische
25 Weglänge im Referenzarm 1 im Hertzbereich mit der Weglängenvariationseinheit 17 veränderbar ist. Die Fokussiereinheit 34 kann bei gewissen Anwendungen weggelassen werden. Es kann z. B. für die Augenlängenmessung die Fokussierung des Messstrahls 46 von der Brechkraft des Auges übernommen werden. Eine Längenzuordnung ist über den jeweiligen Drehwinkel der Einheit 17 möglich. (Bei einem linear verschiebbaren Spiegel ist die Verschiebung am Translationsstand erkennbar.) Eine weitere Interferenz ist detektierbar, wenn analog zu den gerade gemachten Ausführungen der optische Weg [▶ Strahlteiler 11 – Strahlteiler 31 – Umlenkspiegel 35 – Fokussiereinheit 33 – Umlenkspiegel 36 – Strahlteiler 32 – Gegenstandsvorderseite 37 und wieder

zurück ◀] gleich lang wie der am Spiegel 17 reflektierte Referenzstrahl 13 ist. Entspricht die Wegdifferenz durch die Umwegeinheit 29 dem Abstand von Gegenstandsvorder- zur -rückseite 37 bzw. 39, so fallen die Interferenzen bei ein- und derselben Ortslage des Spiegels 17 (Weglängenvariationseinheit) zusammen. Wenn nicht, dann
5 ergeben sich gegenüber dem tatsächlichen Abstand (Dicke) nur geringfügig unterscheidende Ortslagen.

Die optische Weglängendifferenzen der beiden optischen Wege in der Umwegeinheit 29 werden immer so eingestellt, wie sie einem zu erwartenden ungefähren Messergebnis entsprechen würden. D.h. durch die Messung wird somit immer nur die
10 Abweichung vom zu erwartenden Messergebnis ermittelt. Da diese Abweichungen immer bedeutend kleiner sind, als wenn der gesamte Weg (Abstand, Dicke, ...) ausgemessen werden muss, kann mit einer bedeutend kleineren und damit rascheren Weglängenvariation im Referenzarm gearbeitet werden. D.h. zeitlich gesehen, fallen die beiden Interferenzen sehr schnell hintereinander an; sie können sogar gleichzeitig
15 erfolgen. Da bei Abständen, Dickenmessungen, ... beim Stand der Technik immer zwei zeitlich gestaffelte Messungen vorzunehmen waren, liegt nun bei der Erfindung das Messergebnis derart schnell vor, dass Ortsverschiebungen des auszumessenden Gegenstands die Messgenauigkeit nur unwesentlich beeinflussen. In der Umwegeinheit 29 sind die Strahlteiler 31 und 32, die Umlenkspiegel 35 und 36 sowie die beiden Fokussiereinheit 33 und 34 derart angeordnet, dass die beiden Fokuspunkte auf der Gegenstandsvorder- und der -rückseite 37 und 39 auf einer optischen Achse 40 liegen.
20

Der gerade geschilderte Vorteil ist bei einer Augenlängenmessung an den Augen von Kindern, welche in der Regel nur schwer still zu stellen sind, von großem Nutzen.

25 Ist eine Zuordnung der auftretenden Interferenzen zu den betreffenden reflektierenden Flächen gewünscht, so können anstelle des einen Photodetektors 24 zwei, jeder für eine Polarisationsrichtung, verwendet werden. Es wird dann die Strahlung der einen Polarisationsrichtung mittels eines polarisierenden Strahlteilers auf den einen Photodetektor und die Strahlung der anderen Polarisationsrichtung auf den anderen
30 Photodetektor geleitet.

Die Strahlungsreflexion kann nun an der Gegenstandsvorder- sowie an der rückseite 37 bzw. 39 unterschiedlich hoch sein; auch können Reflexionen von Bereichen innerhalb eines Gegenstands, deren Abstand man bestimmen möchte oder so-

fern es sich um Schichten handelt, deren Dicke man ermitteln möchte, unterschiedlich sein. Um nun die reflektierte Intensität in einem gewissen Rahmen anpassen zu können, sind die $\lambda/2$ - bzw. $\lambda/4$ Platten **25** und **27** im Quellenstrahl **9** und im Referenzstrahl **13** vorhanden. Man kann nun die jeweilige Platte derart verstellen, dass in dem Strahl, dessen Strahlung schwach reflektiert wird, mehr Intensität eingekoppelt wird.

Die Weglängenänderung im Referenzarm **1** beaufschlagt die Strahlungsfrequenz des Referenzstrahls **13** mit einer Dopplerfrequenz f_{Doppler} gemäß der Beziehung

$$f_{\text{Doppler}} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_{\text{scan}}}{c}$$

wobei f_0 die Strahlungsfrequenz der Strahlungsquelle **7**, v_{scan} die Weglängenänderungsgeschwindigkeit und c die Lichtgeschwindigkeit ist. (Mit der in der WO96/35100 beschriebenen Weglängenvariationseinheit ist die Dopplerfrequenz f_{Doppler} annähernd konstant.) Diese Dopplerfrequenz weist auch das mit dem Photodetektor **24** detektierte Interferenzsignal auf. Das vom Detektor **24** erhaltene elektrische Signal kann somit mit einem elektronischen Bandpassfilter von der restlichen detektierten Strahlung getrennt werden. Hierdurch verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich.

Es müssen nun nicht alle Strahlverläufe, wie in **Figur 1** dargestellt, als freie "Raumstrahlen" verlaufen. Es können auch Fasern als Strahlungsleiter, wie in **Figur 2** dargestellt, verwendet werden. Analog zur Strahlungsquelle **7** wird in **Figur 2** eine Laserdiode **50**, eine Superlumineszenzdiode, LED oder eine andere breitbandige Lichtquelle verwendet, deren Strahlung über einen Strahlungsleiter **51** zu einem Faserkoppler **52** geführt wird. Im Faserkoppler **52** erfolgt eine Aufteilung der Strahlung der Laserdiode **50** in die beiden Strahlungsleiter **53a** und **53b**, wobei der Strahlungsleiter **53a** Bestandteil des Messarms **55** und der Strahlungsleiter **53b** Bestandteil des Referenzarms **56** ist.

Im Strahlungsleiter **53b** des Referenzarms **56** ist ein Faserpolarisationsregler **57** analog zur $\lambda/4$ -Platte **27** integriert. An dem dem Faserkoppler **52** abgewandten Ende des Strahlungsleiters **53b** ist ein Kollimator **59** angeordnet, welcher die aus dem Leiterende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl **60** verwandelt. Die Intensität dieses Freiraumstrahls **60**, insbesondere im Verhältnis zur im Messarm **55** re-

flektierten Strahlung, kann anschließend an den Kollimator 59 mit einem Graufilter 61 (Dämpfung) und einer weiteren $\lambda/4$ -Platte 63 verändert werden. Im Gegensatz zu einem translatorisch verschiebbaren Referenzspiegel 17 ist in **Figur 2** als Wegvariations-
einheit ein rotierender transparenter Würfel 65 mit einem Spiegel 66, der die auf ihn
5 fallende Strahlung in sich selbst reflektiert, verwendet (WO 96/35100).

Im Messarm 55 ist am dem Faserkoppler 52 angewandten Ende des Strahlungsleiters 53a ein Kollimator 67 angeordnet, welcher die aus dem Leiterende austretende Strahlung in einen parallelen Freiraumstrahl 69 umformt. Der Freiraumstrahl 69 wird, wie bereits oben ausgeführt, mit einer zur Umwegeinheit 29 analog ausgebildeten
10 Umwegeinheit 70 in zwei unterschiedliche Laufzeiten aufweisende Messstrahlen aufgespalten und wieder mit einer gemeinsamen optischen Achse als gemeinsame Strahlkonfiguration 71 überlagert. Die die beiden Messstrahlen aufweisende Strahlkonfiguration 71 durchläuft ein Linsensystem 72 zur Strahldurchmesserminimierung auf den Polygonflächen eines rotierenden Polygonspiegels 73. In Folge der Rotation des Polygonspiegels 73 wird die Strahlkonfiguration 71 über das Auge 75 in der dort gezeigten
15 Pfeilrichtung 76 abgelenkt. Es kann somit ein Augenlängenprofil aufgenommen werden. Mit den abgespeicherten Werten einer Oberfläche kann mit Bezug auf eine Referenzebene, wie unten beschrieben (siehe **Figur 6**), deren Oberflächenprofil ermittelt werden. Mit dem Linsensystem 77 und einem Linsensystem 78 im Umweg wird eine
20 Anpassung der Fokuspunkte der beiden Messstrahlen derart vorgenommen, dass der den Umweg aufweisende Strahl infolge der Linsensysteme 67 und 78 sowie der Linsensysteme 72 und 77 eine Fokussierung auf die Hornhaut 79 des Auges 75 und der den Umweg nicht aufweisende Messstrahl auf den Augenhintergrund fokussiert ist. Hiermit ist dann eine Augenlängenmessung vornehmbar.

25 Die im Messarm 55 rückreflektierte Strahlung vom Auge 75 wird dann mit der im Referenzarm 56 rückreflektierten und mit einer Dopplerfrequenz überlagerten Strahlung im Faserkoppler 52 interferierend überlagert und vom über einen Strahlungsleiter 80 mit dem Faserkoppler 52 verbundenen Detektor 82 analog der obigen Ausführung detektiert.

30 Anstelle nur eines einzigen Polygonspiegels können selbstverständlich auch zwei verwendet werden, um ein zweidimensionales Abfahren (Abscannen) zu erreichen. Anstelle eines regulären Polygonspiegels kann auch ein Polygonspiegel verwendet werden, dessen Spiegelflächen einen sich sukzessive verändernden Neigungswinkel

kel gegenüber der Rotationsachse aufweisen, um ein zeilenartiges Abscannen zu erreichen. Die Rotationsgeschwindigkeiten zwischen dem "Würfel" der Wegvariationseinheit und dem Polygonspiegel müssen nicht koordiniert sein; man muss für die computerisierte Auswertung nur die jeweiligen Positionen wissen.

5 Anstelle eines Polygonspiegels können auch sogenannte Galvanometerspiegel-, elektro-optische und akusto-optische Ablenker verwendet werden. Auch kann ein elektro-magnetisch bewegter Spiegel verwendet werden, der auf einer Kugeloberfläche derart gelagert ist, dass eine zweidimensionale Ablenkung möglich ist. Vorteil dieser Anordnung gegenüber einem Polygonspiegel ist ein Drehpunkt nahe der Spiegelober-
10 fläche.

Figur 3 zeigt zu den in den **Figuren 1** und **2** dargestellten optischen Anordnungen eine weitere Ausführungsvariante der Erfindung, bei der zwei Strahlungsquellen **83a** und **83b** mit unterschiedlichen Zentrumswellenlängen verwendet werden. Die Spektren der verwendeten Lichtquellen sollten sich möglichst wenig überlappen. Analog zum optischen Aufbau in **Figur 2** wird auch hier mit Strahlungsleitern gearbeitet.
15 Die von den beiden Strahlungsquellen **83a** und **83b** ausgehenden Strahlungsleiter **84a** und **84b** werden in einem ersten Faserkoppler **85** in einen Strahlungsleiter **86** eingekoppelt, der mit einem weiteren Faserkoppler **87** verbunden ist. Vom Faserkoppler **87** geht ein Messarm **89** und ein Referenzarm **90** weg sowie ein Strahlungsleiter **91** zu
20 einem Detektor **92**. Im Gegensatz zu den bereits oben beschriebenen Ausführungsvarianten hat hier der Messarm einen weiteren Faserkoppler **93**, der die von den beiden Strahlungsquellen **83a** und **83b** kommenden Strahlungen mit unterschiedlicher Zentrumswellenlänge wieder nach den Zentrumswellenlängen in zwei Strahlungsleiter **94a** und **94b** auftrennt. Die Enden der beiden Strahlungsleiter **94a** und **94b** enden in einer
25 Umweeinheit **95**. Die Umweeinheit **95** hat für die aus den Enden der Strahlungsleiter **94a** und **94b** austretenden Freiraumstrahlungen **96a** und **96b** je ein Linsensystem **97a** und **97b**. Die Freiraumstrahlung **96b** wird dann über einen Umlenkspiegel **99** mit einem wellenlängenselektiven Strahlteiler (-vereiniger) **100** zu einer einzigen optischen Achse **102**, aufweisenden Strahlkonfiguration **101** vereinigt. Die Linsensysteme **97a** und **97b** sind nun gerade derart ausgewählt, dass eine Fokussierung der betreffenden Freiraumstrahlung **96a** bzw. **96b** auf die betreffende Trennfläche, hier beispielsweise **107**
30 und **108**, zur Dicken- bzw. Abstandbestimmung erfolgt. Eine Verstellung des Umwegs ist in der hier beschriebenen Ausführungsvariante einfach dadurch zu erzielen, dass z.

B. lediglich der Umlenkspiegel **99** samt dem Linsensystem **97b** und dem Ende des Strahlteilers **94b** bezüglich des Strahlteilers **100** gemäß der Darstellung in **Figur 3** nach oben verschoben wird. Dies ist einfach durchführbar, da die Strahlungsleiter **94a** und **94b** flexibel sind.

- 5 Die mit dem Photodetektor **92** erhaltenen elektrischen "Interferenzsignale" werden dann mit einer Auswerteelektronik **103** weiter verarbeitet, eventuell auf einem Bildschirm **104** dargestellt und können über ein Datenübertragungsnetz **105** zur weiteren Ausarbeitung und Abspeicherung weitergegeben werden.

- Zur Messung an zwei in axialer Richtung getrennt liegenden Bereichen in einem
- 10 Gegenstand ist die oben beschriebene unterschiedliche Polarisierung sowie auch die beiden unterschiedlichen Wellenlängen im umgelenkten sowie im direkten Strahl des Messarms nicht notwendig. Auf die $\lambda/4$ - und $\lambda/2$ -Platten kann dann ebenfalls verzichtet werden. Die polarisationssensitiven bzw. wellenlängensensitiven Strahlteiler bzw. Faserkoppler können dann durch normale physikalische Strahlteiler ersetzt werden. Ein
- 15 Vorteil eines Arbeitens mit unterschiedlichen Strahleigenschaften [unterschiedliche Frequenz, unterschiedliche Polarisationsrichtung] liegt in einer Empfindlichkeitserhöhung um den Faktor 8. Wird nämlich ununterscheidbare Strahlung verwendet, so geht auf dem Hinweg die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler **32** bzw. **100** und auf dem Rückweg geht zusätzlich zweimal die Hälfte verloren. Nämlich zuerst beim Strahlteiler
- 20 **32** bzw. **100** sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite, als auch für die von der Gegenstandsrückseite reflektierten Strahlung. Durch den "falschen" Umweg ist diese Strahlung für die interferometrische Detektion wegen der "falschen" Weglänge "verloren". Ferner geht noch einmal die Hälfte der Strahlung beim Strahlteiler **31** oder beim Faserkoppler **93** sowohl für die von der Gegenstandsvorderseite als auch für die von
- 25 der Gegenstandsrückseite reflektierte Strahlung verloren. Ist eine ausreichende Strahlungsintensität vorhanden und erträgt der Gegenstand diese hohe Intensität, so ist dies eine bevorzugte Ausführungsvariante, da hier die zu verwendenden optischen Komponenten preisgünstiger sind.

- Soll die Phasenverzögerung in einem doppelbrechenden Material eines Gegen-
- 30 stands **109** gemessen werden, so wird eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau gemäß **Figur 4** verwendet. Der in **Figur 4** dargestellte Aufbau entspricht bis auf die nachfolgend angeführten Unterschiede demjenigen der **Figur 1**.

Die Strahlteiler **31** und **32** des Aufbaus von **Figur 1** sind in **Figur 4** die analogen Strahlteiler **111** und **112**. Ferner sind die den Linsensystemen **33** und **34** entsprechenden Linsensysteme **113** und **114** derart ausgebildet, dass die durch sie erzeugten Brennpunkte in einem Bereich, hier z.B. auf der Probenrückseite, zusammenfallen; es soll ja eine Phasenverzögerung zweier Strahlungen mit zueinander senkrecht stehender Polarisations Ebenen ermittelt werden. Anstelle eines einzigen Photodetektors in **Figur 1** sind in **Figur 4** jetzt für jede Polarisationsrichtung ein Photodetektor **116** und **117** vorhanden, wobei die auf sie fallende, von der Probenrückseite **115** reflektierte Strahlung, der die Referenzstrahlung interferierend überlagert wird, durch einen polarisierenden Strahlteiler **119** aufgeteilt wird.

Die von der Probenrückseite **115** reflektierte p-polarisierte Strahlung wird mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem kurzen Weg durch die Umwegeinheit **120** über den Strahlteiler **119** auf den Photodetektor **116** gestrahlt. Die ebenfalls von der Probenrückseite **115** reflektierte s-polarisierte Strahlung – die Polarisations Ebene der s-Strahlung liegt senkrecht zu derjenigen der p-Strahlung – wird ebenfalls mit vernachlässigbaren Verlusten auf dem langen Weg durch die Umwegeinheit **120** über den Strahlteiler **119** auf den Photodetektor **117** gestrahlt. Da ausschließlich von der Probenrückseite **115** reflektierte Strahlung detektiert wird, ist die Umwegeinheit **120** derart einzustellen, dass die optischen Wegunterschiede zwischen der s- und p-Strahlung möglichst klein sind. Aus der durch die Photodetektoren **116** und **117** gemessenen Intensität der betreffenden reflektierten Intensität kann dann auf die Phasenverzögerung des doppelbrechenden Materials geschlossen werden.

Soll neben einer der oben beschriebenen Messungen zusätzlich eine Betrachtung vorgenommen werden, so kann eine Vorrichtung mit einem optischen Aufbau, wie in **Figur 5** gezeigt, beispielsweise verwendet werden. Die optische Anordnung der **Figur 5** entspricht im wesentlichen den in den **Figuren 1** bis **4** gezeigten Anordnungen. Eine den Umwegeinheiten **29**; **70** und **120** entsprechende Umwegeinheit **118** ist lediglich angedeutet. Die Ausführungsvariante gemäß **Figur 5** weist jedoch die nachfolgenden Unterschiede auf. Zur Beleuchtung des Gegenstands, hier eines Auges **121**, ist nach einem, in **Figur 2** bereits beschriebenen Polygonspiegel **123** ein Strahlteiler **124** vorhanden, über den die Beleuchtungsstrahlung **125** einer Strahlungsquelle **126** eingekoppelt wird. Mit einer Kamera **127** kann der auszumessende Bereich betrachtet und auf einem nicht dargestellten Monitor wiedergegeben werden. Der Beobachtungsstrahl

129 wird mit einem Strahlteiler **130** auf die Kamera **127** gelenkt. Erscheint der Beleuchtungsstrahl auf dem Monitor **128** in einem bestimmten örtlichen Toleranzbereich, so ist das Auge ausgerichtet und die Messung kann ausgelöst werden.

Sollen sehr kleine Dicken oder Abstände ermittelt werden, kann es vorkommen,
5 dass der in den **Figuren 1 bis 5** gezeigte Umweg in der dort skizzierten Umwegeinheit infolge der geometrischen Abmessungen von zu verwendenden optischen Komponenten zu lang ist. In diesem Fall kann analog zu dem dort jeweils gezeigten großen optischen Weg auch der kurze optische Weg verlängert werden, in dem auch hier zwei verschiebbare Umlenkspiegel in den Strahlengang eingesetzt werden. Mit einer derar-
10 tigen Umweganordnung können dann beliebig kurzer und langer Umweg vertauscht werden.

Die oben beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung kann nebst ihren Ausführungsvarianten zusammen mit bereits bestehenden Geräten verwendet werden. Diese Vorrichtung kann man z. B. in ein Spaltlampengerät für die Augenuntersuchung
15 einbauen oder mit diesem kombinieren. Es kann dann der Messstrahl als Freiraumstrahl entweder via Strahlteiler in den Beleuchtungsstrahlengang, beim Mikroskop ebenfalls via Strahlteiler in einen Beobachtungsstrahlengang oder beim Mikroskopobjektiv oder mit einem Umlenkspiegel **199** in einen Mittelkanal **200** eines Stereomikroskops **202** eines Spaltlampengeräts, wie in **Figur 11** gezeigt, eingekoppelt werden. Der Mit-
20 telkanal **200** liegt zwischen den beiden Strahlengängen **201a** und **201b** des Stereomikroskops **202**. In **Figur 11** ist zudem noch eine Fixationslichtquelle **203** gezeigt. Durch eine Betrachtung der Fixationsquelle **203** richtet der Patient sein Auge **205** auf einen vorgegebenen Ort aus und hält es meistens auch auf diesen unbeweglich fixiert. Der Messstrahl **206** tritt (analog einer Vorrichtungsanordnung wie sie **Figur 2** zeigt) aus
25 einer Faser **207** aus und durchläuft eine analog zur Umwegeinheit **29, 70, 89** oder **120** ausgebildete, nicht explizit dargestellte Umwegeinheit **209** mit einem optionalen transversalen Scanner. Die restlichen Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in einem kompakten Basisgerät **210** eingebaut. Bei der Wahl der in der Umwegeinheit **209** verwendeten Linsen muss lediglich die Linsenwirkung der Objektivlinse des Spaltlampenmikroskops **202** mit berücksichtigt werden.
30

Durch die Verstellung des Spaltlampengeräts in den drei räumlichen Koordinaten, bevorzugt mit einem sogenannten Lenkhebel, wird dann auch der Messstrahl entsprechend verstellt. Anstatt das ganze Spaltlampengerät zusammen mit dem Mess-

strahl zu verstellen, können auch beide unabhängig voneinander verstellt werden. Wie bereits oben angedeutet, verwendet man bei einer Verstellung nur des Messstrahls bevorzugt eine "faseroptische" Ausführung analog zur Darstellung in **Figur 3**.

Bei einer Kombination mit einem mit Placidoringen ausgerüsteten Videokeratographen erfolgt eine Einkopplung des Messstrahls in Richtung der Beleuchtungsachse des Videokeratographen mit Hilfe eines kleinen Strahlteilers.

Anstatt den Messstrahlengang, wie oben beschrieben in ein Stereomikroskop zu integrieren, kann er auch bei einem Spaltlampengerät **213** über einen auf das Mikroskop **214** aufsteckbaren Adapter **215** zugeführt werden, wie in **Figur 12** skizziert ist. Der Adapter **215** beinhaltet die Funktionen der Umweeinheit **29**, **70**, **95** oder **120**.

Aufgrund der obigen Ausführung kann die Vorrichtung gemäß den **Figuren 1 bis 5** mit diversen Geräten kombiniert werden. Sie kann jedoch auch, da der Messvorgang äußerst rasch erfolgt, als Handgerät ausgebildet werden, welches dann lediglich vor einen auszumessenden Gegenstand gehalten wird. Bei einer Ausbildung als Handgerät bzw. als modifiziertes Spaltlampengerät (**Figur 12**) wird man bevorzugt die in **Figur 3** gezeigte Ausführungsvariante mit Faserleitern verwenden, da dieses eine große Bewegungsfreiheit ergibt. In diesem Fall sind vorzugsweise die bewegbaren Fasern als polarisationserhaltende Fasern ausgebildet. Es kann beispielsweise auch eine Kombination mit einem sogenannten Kontaktglas erfolgen, welches in der Hand gehalten an die Hornhautoberfläche des menschlichen Auges angelegt wird.

Um diese Vorrichtung möglichst universell verwendbar auszuführen, müsste nun, da die Länge des Messarmes (Abstand der Umweeinheit zum auszumessenden Gegenstand) stark variieren kann, das Weglängenvariationselement einen großen Variationsweg durchfahren können. Interferenzen ergeben sich nämlich nur, wenn Referenzweg und entsprechender Messweg gleich lang sind. Diese Differenzen muss das Weglängenvariationselement ausgleichen können. Ein großer Variationsweg macht einerseits die Weglängenvariationseinheit teuer in ihrer Ausführung und verlängert zudem die Messzeit.

Dieser Nachteil kann umgangen werden, wenn versucht wird, den Messweg innerhalb kleiner Toleranzwege zu halten. Zwei Strahlen der Strahlungsquelle können nun derart angeordnet werden, dass sie sich erst im Messgebiet auf dem auszumessenden Gegenstand treffen, wenn dieser sich innerhalb eines vorgegebenen Abstands

befindet. Man wird hierzu die zwei Justierstrahlen (Pilotlaser) gegen die optische Achse geneigt einstrahlen. Zur Justage werden dann zwei Punkte auf einer streuenden oder reflektierenden Oberfläche des Messobjekts gesehen, welche erst bei richtiger Entfernungseinstellung zu einem Punkt verschmelzen.

5 Bei Verwendung eines Betrachtungsmikroskops kann der Umweg in der Umwegeinheit optimal dadurch eingestellt werden, dass der Strahldurchmesser jedes Messstrahls minimal auf den betreffenden Bereich eingestellt wird. Dieser Vorgang kann auch automatisiert werden; z B. mit einer CCD-Kamera, einer Auswerte- und Steuereinheit und einem Aktuator. Die Steuereinheit, mit der der Aktuator gesteuert
10 wird, regelt die Distanz zwischen der Umwegeinheit und dem Messobjekt (Gegenstand).

Anstatt nur jeweils einen Abstand bzw. eine Dicke auszumessen, können auch mehrere ausgemessen werden, indem anstelle nur eines Umwegs mehrere vorgesehen werden. Weitere Umwege können erhalten werden, indem jeweils ein Umlenkspiegel
15 durch einen Strahlteiler mit entsprechenden Eigenschaften ersetzt wird und dann wieder ein Umlenkspiegelpaar oder nur ein einziger Umlenkspiegel bei der Fa-
seranordnung gemäß **Figur 3** verwendet wird.

In den vorgängig beschriebenen **Figuren 1 bis 5** werden Messungen ausgeführt, bei denen eine Dicke ermittelt wird. Hierzu wird der erste Messstrahl auf einen
20 ersten Punkt fokussiert und der zweite Messstrahl, in der Regel derjenige, welcher den Umweg nicht durchlaufen hat, auf einen zweiten, nach dem ersten Punkt liegenden Punkt fokussiert. Erster und zweiter Punkt liegen hier auf einer optischen Achse. Man kann nun die erfindungsgemäße Vorrichtung auch derart aus- und umbilden, dass die Fokuspunkte der beiden Messstrahlen nebeneinander liegen. Werden die Messstrah-
25 len seitlich nebeneinander gelegt, so kann bei einer Oberfläche, welche wenigstens einen Mindestreflexionsfaktor von $10^{-4}\%$ hat, ein Oberflächenprofil bestimmt werden. Es wird hierzu, wie in **Figur 6** angedeutet ist, der Abstand d_1 eines ersten reflektierenden Ortes **135** des ersten Messstrahls **136** auf der Oberfläche **137** von einem Referenzpunkt bzw. einer Referenzebene **139** und der Abstand d_2 des zweiten reflektierenden Ortes **140** des zweiten Messstrahls **141** von der Referenzebene **139** ermittelt.
30 Beide Messwerte werden in einer Speichereinheit **143** abgespeichert. Die Abstandsdifferenz d_1 und d_2 der beiden Messstrahlen **136** und **141** von der Referenzebene **139** in Relation zu deren gegenseitigen Abstand h ergibt dann zwei Oberflächenkoordinaten.

Aus diesen beiden Koordinaten kann dann auf den Oberflächenverlauf mit Näherungsverfahren geschlossen werden, sofern die Art der Oberfläche bekannt ist. Die Art der Oberfläche ist beim menschlichen Auge bekannt. Werden mehrere Messstrahlen verwendet oder mehrere Messungen mit seitlich versetzten Messstrahlen vorgenommen, kann die Oberfläche genauer ermittelt werden.

In der Ophthalmologie spielt bei der Anpassung von intraokulären Linsen in der Katarakt-Behandlung nicht nur die Augenlänge und die Vorderkammertiefe eine wesentliche Rolle, sondern auch das Krümmungsprofil der Hornhaut, vor allem in deren Zentrum. Alle diese Werte können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bestimmt werden.

Zur Ermittlung des Profils genügen im Minimalfall zwei bestimmte Krümmungsradien der zentralen Hornhaut, nämlich ein Krümmungsradius in horizontaler und einer in vertikaler Richtung. Sind diese beiden Radien verschieden, spricht man von einem (zentralen) Astigmatismus. Die Krümmungsradien können mit Hilfe bekannter geometrischer Algorithmen ermittelt werden, wenn pro zu bestimmenden Kreisbogen, wie bereits oben ausgeführt, ausgehend von einer Referenzebene (hier 139) der Abstand unter einem vorgegebenen Winkel (hier der normale Abstand d_1 und d_2) und der Abstand (hier h) der Kurvenpunkte (hier 135 und 140) von einander bekannt sind. Die Abstände d_1 und d_2 sind aus dem augenblicklichen Ort des reflektierenden Spiegels in der betreffenden Weglängenvariationseinheit bei auftretender Interferenzerscheinung ermittelbar. Als Referenzwert wird eine vorgegebene Spiegelstellung verwendet. Wird eine Weglängenvariationseinheit mit einem rotierenden Würfel (beispielsweise wie in der WO 96/35100 beschrieben) verwendet, wird man bevorzugt dessen Nullgrad-Position als Referenz verwenden, bei der der einfallende Strahl senkrecht auf die erste Würfeloberfläche trifft. Anstelle vom minimal drei Messstrahlen zur Ermittlung der beiden zentralen Krümmungsradien können auch mehrere Messstrahlen verwendet werden, um eine exaktere Krümmungsradienmessung vorzunehmen. Auch kann gleichzeitig Dicken- und Radienmessung vorgenommen werden, wie unten ausgeführt wird.

Die in **Figur 7** an Hand eines optischen Blockschaltbildes beschriebene Vorrichtung dient zur Ermittlung eines Oberflächenprofils sowie diverser Dicken bei einem transparenten bzw. diffusiven Gegenstand, hier einem menschlichen Auge 147. Der in **Figur 7** schematisch dargestellte optische Aufbau ähnelt in weiten Teilen demjenigen

der **Figur 1**. Auch hier ist eine Strahlungsquelle **149** vorhanden, welche beispielsweise eine superlumineszente Diode sein kann. Die Strahlung der Strahlungsquelle **149** wird hier jedoch über einen Strahlungsleiter **150** geführt, der eine Ortsunabhängigkeit von Strahlungsquelle **149** und der Mess- und Auswerteeinheit ermöglicht. Die aus den
5 Strahlungsleiter **150** austretende Strahlung wird mit einer Linse **151** kollimiert und mit einer zweiten, nachfolgenden Linse **152** fokussiert. Zwischen dem Fokuspunkt **153** und der Linse **152** ist zur "Drehung" der Polariationsrichtung der Strahlung eine $\lambda/2$ -Platte **154** angeordnet. Anschließend folgt ein Strahlteiler **155**, mit dem die Strahlung in den Messarm **157a** und den Referenzarm **157b** aufgeteilt wird. Der Referenzarm **157a** hat
10 auf den Strahlteiler **155** folgend eine $\lambda/4$ -Platte **159**, gefolgt von einer Linse **160**, mit der die vom Strahlteiler **155** kommende Strahlung kollimiert wird. Als Weglängenvariations-einheit **161** ist schematisch lediglich ein linear verstellbarer Spiegel angedeutet; es können jedoch auch anders ausgebildete Einheiten, wie beispielsweise der rotierende Würfel verwendet werden.

15 Im Messarm **157b** folgt auf den Strahlteiler **155** eine Kollimationslinse **162** und dann eine analog zur Umwegeinheit **29** aufgebaute Umwegeinheit **163**, mit zwei polarisierenden bzw. wellenlängensensitiven Strahlteilern **164** und **165**, zwei Umlenkspiegeln **166** und **167** und einer Fokussierlinse **169**.

Die vom Auge rückreflektierte Strahlung wird mit der vom Referenzarm **157a**
20 kommenden Referenzstrahlung überlagert und im Detektorarm **157c** über eine Linse **170** auf ein Detektionsarray **171** geführt, wobei der Einfachheit halber nur eine lineare und keine zwei dimensionale Darstellung von lediglich drei nebeneinander angeordneten Detektoren **172a**, **172b** und **173c** vorgenommen worden ist. Jedem Detektor **172a**, **172b** und **173c** ist eine elektronische Schaltung **173** beispielsweise mit einem
25 Verstärker, Dopplerfrequenzfilter, Gleichrichter und Tiefpassfilter nachgeschaltet. Die detektierten Messsignale werden dann über einen Analog-Digital-Wandler **174** und einen Computer **175** mit der Speichereinheit **143** verarbeitet und auf einem Bildschirm **176** dargestellt.

Mit der in **Figur 7** schematisch dargestellten Vorrichtung kann die Augenlänge,
30 die Korneadicke, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke, die Glaskörpertiefe und die Retinaschichtdicke gleichzeitig an verschiedenen Stellen gemessen werden. Da an verschiedenen Stellen gemessen werden kann, können auch Oberflächenprofile rechnerisch ermittelt werden. Um dies zu verdeutlichen sind drei seitlich versetzte Strahlen-

gänge ausgezogen, gestrichelt und punktiert dargestellt, welche auf die Detektoren 172a, 172b und 172c geführt werden. Der gestrichelte Strahl kommt, wie der besseren Übersichtlichkeit wegen vergrößert in **Figur 8** dargestellt, von den Orten 177a, 177b, 177c, 177d und der Retina 179. Je nach Stellung der Spiegel 166 und 167 bzw. des
5 Spiegels in der Wegvariationseinheit wird dann vom Detektor 172a ein Interferenzsignal registriert. Für die Orte 180a bis 180d und 181a bis 181d gilt analoges. Mit Hilfe eines Detektorarrays bestehend aus $m \times n$ Photodetektoren ist es möglich $m \times n$ Orte auf oder im Auge 147 z. B. auf der Korneavorderfläche 182, der Korneahinterfläche 183, der Augenlinsenvorder bzw. -hinterfläche 184 und 185 gleichzeitig zu messen
10 und auszuwerten. Nach einer gewissen Zeitdauer, welche abhängig ist von der Bewegungsgeschwindigkeit des Spiegels in der Wegvariationseinheit 161, werden dann die zu den mit "b", dann mit "c", mit "d" gekennzeichneten Orte detektiert und ausgewertet.

Die Linsen 160 und 162 können je nach Verwendung als ein- oder zweidimensionales Linsenarray ausgebildet sein.

15 Zum besseren Verständnis des Messvorganges sind in **Figur 9** zusätzlich die "Strahlenbegrenzungen" zum und vom Ort 177a ausgezogen sowie zum und vom Ort 181a punktiert im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c dargestellt. Die ausgezogenen bzw. punktierten Linien zeigen die zwei Randstrahlen im Referenz-, Mess- und Detektorarm 157a, 157b und 157c, welche die Messung der Raum-
20 koordinate des Ortes 177a bzw. 181a ermöglichen, d. h. mit diesen Strahlen interferieren.

In **Figur 10** ist eine als faseroptisch paralleles kurzkohärentes Reflektormeter zu bezeichnende Vorrichtung skizziert. Diese Ausführungsvariante der Erfindung erlaubt beispielsweise die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Horn-
25 hautvorderfläche in horizontaler (links und rechts) und vertikaler (oben und unten) Richtung. Zusätzlich ist auch die simultane Messung von vier zentralen Krümmungsradien der Hornhautrückseite möglich. Diese Vorrichtung hat fünf 2 x 2 Singelfaserkoppler 190, fünf Strahlungsquellen 191a bis 191e, fünf Detektore 192a bis 192e mit zugehöriger Schaltung 193a bis 193e, Analog-Digital-Wandler 194, Computer 195
30 und Anzeige 196. Die restlichen Elemente und Einheiten (insbesondere 161 und 163), entsprechen denjenigen der **Figur 7**.

Die Eichung der oben beschriebenen Vorrichtungen kann dadurch erfolgen, dass in den Referenzarm (z.B. 1 oder 157a) die Strahlung einer hochkohärenten

Strahlungsquelle (z. B. ein distributed feedback Laser) mit einem (nicht dargestellten) Strahlteiler eingekoppelt wird. Die eingekoppelte Strahlung interferiert dann mit einem Strahlungsteil, der an einem beliebigen Ort zwischen diesem Strahlteiler und dem Weglängenvariator an einem feststehenden Reflektor reflektiert wird. Die Kohärenz der
5 hochkohärenten Strahlungsquelle ist größer als die Wegvariationslänge des Variators. Über den Detektoren (oder auf einem separat hierfür eingerichteten Detektor) läuft dann ein Interferenzstreifenmuster. Der Abstand jeweils zweier Interferenzstreifen entspricht dann jeweils einer halben Wellenlänge. Durch ein (automatisches) Auszählen dieser Streifen ist eine Wegeichung des Weglängenvariators möglich. Da die hochko-
10 härente Strahlung nicht auf das Auge des Patienten gelangen kann, kann deren Strahlungsleistung relativ hoch sein, so dass diese Detektion unkritisch ist. Die Wellenlänge der hochkohärenten Strahlung kann (muss es aber nicht) die gleiche Wellenlänge wie die für die Augenmessung verwendete kurzkohärente Strahlung haben.

Die mit den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtungen ermittelten
15 Dicken der Hornhaut können vorzugsweise in eine Beratung von Patienten einfließen, bei denen eine refraktive Chirurgie mit LASIK (Laser-assisted in situ Keratomileusis) vorgenommen werden soll, in dem eine individuelle Berechnung eines Unterschieds zur kritischen Hornhautdicke mit Blick auf die aktuelle Hornhautdicke erfolgt. Hierzu wird man vorzugsweise die nachfolgenden neuen Schritte vornehmen:

- 20 1. Es wird eine präoperative zentrale Hornhautdicke d_z mit einer der Vorrichtungen, wie sie die **Figuren 1 bis 5, 7 oder 10** zeigen, ermittelt.
2. Von der ermittelten Hornhautdicke d_z wird die bei LASIK übliche mittlere Flapdicke d_f von typischerweise 160 μm (einstellbar) abgezogen.
3. Es wird ein (maximal möglicher) Pupillendurchmesser ermittelt, während dem das
25 Auge typischen nächtlichen Lichtintensitätsbedingungen ausgesetzt ist. Der "nächtliche Pupillendurchmesser" kann durch Abdunkeln des Untersuchungsraums mit einer an die erfindungsgemäßen Vorrichtungen bzw. deren Ausführungsvarianten angeschlossenen TV-Kamera ausgemessen werden. Eine derartige Kamera kann z. B. im Detektorarm via Strahlteiler mit einem entsprechenden
30 Linsensystem angedockt werden. Die Messung des Pupillendurchmessers ist optional. Für eine Beratung können auch Standardwerte verwendet werden.

4. Es wird nun ein optimaler Ablationsdurchmesser S auf der Hornhaut festgelegt, der größer sein muss als der nächtliche Pupillendurchmesser, um nach der Ablation Haloerscheinungen zu vermeiden.
5. Die mit LASIK zu erreichende Korrektur in Dioptrien ist aus vorgängigen Messungen (z. B. durch eine Kenntnis der Brechkraft einer bereits verwendeten Brille oder Kontaktlinse, welche der Patient bereits besitzt) bekannt.
6. Gemäß der Formel $t_0 = - (S^2 D) / 3$ wird die für die gewünschte Korrektur notwendige zentrale Abtragungstiefe t_0 [in Mikrometer] für die gewünschte Korrektur berechnet, wobei S der optimale Ablationsdurchmesser in Millimeter und D die gewünschte Dioptrienänderung infolge der Ablation ist.
7. Es wird jetzt die zentrale stromale Restdicke $d_s = d_z - d_t - t_0$ berechnet, welche nach der LASIK-Operation erhalten werden würde.
8. Es wird abgeklärt, ob die Restdicke d_s über einer kritischen zentralen stromalen Restdicke d_k liegt. Eine mögliche Definition für die kritische zentrale stromale Restdicke d_k ist beispielsweise $d_k = a \cdot d_z - b$, wobei $a = 0,58$ und $b = 30 \mu\text{m}$ als Standardwerte angenommen werden.
9. Ist nun d_s größer als d_k kann eine LASIK-Operation empfohlen werden.

Die oben angeführten Verarbeitungsschritten können selbstverständlich über einen Rechner automatisiert werden.

- 20 Das Vorgehen bei einer Hyperopiekorrektur erfolgt analog. Die Hornhautdicke muss dann jedoch peripher an der Stelle der maximalen Abtragung gemessen werden; die unter Punkt 6 angegebene Formel ist dann entsprechend zu ersetzen.

- 25 Den oben angeführten Dicken- und Profilmessungen am Auge kann eine Bestimmung dessen Brechkraftverteilung hinzugefügt werden. Um dies zu erreichen, wird die Linse **162** in **Figur 7** durch ein (nicht dargestelltes) Linsenarray mit $p \times q$ Linsen ersetzt. Hierdurch wird die von der Strahlungsquelle **149** kommende Strahlung in $p \times q$ getrennte (nicht dargestellte) Teilstrahlen auf das Auge abgebildet. Das Linsenarray ist auf das Auge zu- bzw. von diesem wegbewegbar. Es wird nun in eine derartige Position gebracht, dass eine Fokussierung wenigstens teilweise auf der Retina erfolgt. An einem Ort zwischen der Augenoberfläche und der Linse **170** wird nun ein weitere Strahlteiler eingesetzt und die Retina mit einer TV-Kamera betrachtet. Falls nun die
- 30

örtliche Verteilung der Lichtpunkte auf der Retina von der durch das Linsenarray erzeugten Punktverteilung abweicht, ist die Brechkraftverteilung oder die Abbildungseigenschaft des Auges nicht ideal, d.h. das Auge bildet eine auf die Kornea auftreffende ebene Wellenfront nicht optimal ab. Diese Abweichung (z. B. sphärische Aberration, Koma usw.) kann dann auf einem Monitor dargestellt werden.

Bekannte Tonometer (Augendruckmessgeräte) haben den Nachteil, dass sie den intraokularen Druck nur indirekt messen können. Die Messung erfolgt beispielsweise über eine Kraft, welche notwendig ist, um eine Hornhautoberfläche auf einer vorgegebenen Fläche abzuflachen (Applanationstonometer). Die "abplattende" Kraft ist aber abhängig von der Hornhautdicke und der Krümmung der Hornhaut. Die bekannten Tonometer gehen von einer standardisierten Hornhautnormaldicke und -normalkrümmung aus. Bei einer Abweichung der Hornhaut von den Standardwerten stimmt dann ein derart ermittelter Augeninnendruck nicht mit dem tatsächlichen überein. Je dicker oder je stärker gekrümmt die Hornhaut ist, desto stärker weicht der bekanntermaßen ermittelte Innendruck vom tatsächlichen nach oben ab. Das kann dazu führen, dass wegen vermeintlich zu hohem Augendruck Medikamente zur Augendrucksenkung verabreicht werden, welche nicht nötig bzw. sogar schädlich sind. Diese Fehlmessung bzw. Fehlinterpretation kann jedoch auch dazu führen, dass beispielsweise ein Glaukom erst verspätet diagnostiziert wird.

Es wird nun vorgeschlagen, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem Tonometer zu kombinieren. Der mit einem bekannten Tonometer gemessene ("falsche") Augeninnendruck wird rechnerisch unter Verwendung der mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermittelten Hornhautkrümmung und der Hornhautdicke korrigiert. Die Korrektur kann durch eine Eingabe der Werte in einen Rechner erfolgen oder automatisch durch eine elektronische Verknüpfung der beiden Geräte.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen, ihre Ausführungsvarianten sowie ihre Messgeräte können vernetzt werden, wodurch auch eine Aufbereitung und Abspeicherung von Daten auch an entfernten Orten vorgenommen und mit anderen Daten verglichen werden kann.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient wie bereits oben teilweise erwähnt zur ophthalmologischen Messung

- der Korneadicke, des Korneadickenprofils, des Korneavorder- sowie -rückseitenprofils;

- der Vorderkammertiefe, des Vorderkammertiefenprofils,
- der Linsendicke, des Linsendickenprofils, des Linsenvorder- sowie –rückseitenprofils,
- der Glaskörpertiefe, des Glaskörperprofils,
- 5 ➤ der Retinaschichtdicke, des Retinaoberflächenprofils,
- der Epitheliumdicke, des Epitheliumprofils, des Epitheliumvorder- und –rückflächenprofils,
- der kornealen Flapdicke, des Flapdickenprofils, des Flapvorder- und –rückseitenprofils, der Flapposition,
- 10 ➤ der kornealen Stromadicke, des Stromaprofils, des Stromavorder- und –rückflächenprofils.
- Weitere Messungen können bei postoperativen Nachuntersuchungen nach refraktiver Chirurgie vorgenommen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander
distanzierter Bereiche (37,39; 79,81; 135/140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d,
5 179) bei einem transparenten und/oder diffusiven Gegenstand (5; 75; 109; 121) mit
einer Messzeit im Subsekundenbereich, wobei der Gegenstand (5; 75; 109; 121;
147) mit einer der Anzahl Bereiche entsprechenden Anzahl Messstrahlen (45, 46;
96a, 96b; 71; 101) bestrahlt wird und jeweils zwei Messstrahlen bis auf eine Be-
stimmungstoleranz zueinander eine optische Wegdifferenz haben, welche einem
10 geometrischen Abstand jeweils zweier Bereiche (37, 39; 79, 81; 135, 140; 177a-d,
179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) entspricht und jeder von einem der Bereiche (37,
39; 79, 81; 135, 140; 177a-d, 179; 180a-d, 179, 181a-d, 179) reflektierte Refle-
xionsstrahl der Messstrahlen mit einem eine zeitliche, bevorzugt periodische,
Weglängenvariation aufweisenden dritten Strahl (13; 60) interferierend überlagert
15 und detektiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Vornahme der
Wegdifferenz bzw. -differenzen eine Vereinigung der Messstrahlen zu einer einzi-
gen Strahlkonfiguration mit einer einzigen optischen Achse (40, 102) zur Dicken-
20 messung erfolgt und vorzugsweise die Strahlkonfiguration (71) über den Gegen-
stand (75; 121) bewegt, insbesondere periodisch über diesen bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils wenigstens
zwei Messstrahlen in einem Abstand nebeneinander verlaufen, um ein Oberflä-
25 chenprofil zu ermitteln.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass
die Messstrahlen im Vergleich zu den Bereichsabständen, insbesondere zu den
Bereichsabständen ausgehend von einem Referenzort (139) eine kurze Kohä-

renzlänge haben, vor allem die Messstrahlen (96a, 96b) jeweils sich voneinander unterscheidende Strahlungsfrequenzen haben, vorzugsweise die Messstrahlen (45, 46) jeweils sich voneinander unterscheidende Polarisationszustände haben, insbesondere jeweils ein Messstrahl (45, 46; 96a, 96b) auf einen der Bereiche (37, 39; 79, 81) fokussiert wird und wahlweise bei der zeitlichen Weglängenvariation des dritten Strahls ein einer vorgegebenen Weglänge entsprechender Referenzort definiert wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung, in deren Messarm (3; 55; 157b) ein optisch transparenter und/oder diffusiver, bevorzugt reflektierender Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) einbringbar ist und deren Referenzarm (1; 56, 90; 157a) eine Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) aufweist, mit der bevorzugt eine periodische Weglängenänderung für die Strahlung im Referenzarm (1; 56, 90; 157a) erzeugbar ist, **gekennzeichnet durch** eine im Messarm (3; 55; 157b) vor dem Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) angeordnete Umwegeinheit (29; 70, 95; 120; 163), mit der wenigstens ein erster Messstrahl mit einer gegenüber wenigstens einem zweiten Messstrahl größeren Umweg beaufschlagbar ist, wobei ein mit der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120; 163) erzeugbarer Umweg bis auf eine Bestimmungstoleranz gleich einem Abstand von im Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) auszumessenden Bereichen (37, 39; 79, 81; 177a-d-179; 180a-d-179, 181a-d-179), bevorzugt gleich einen Abstand seitlich benachbarter Bereiche von einem Referenzort (139) wählbar ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (7; 50; 149; 191a-e) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung des von ihr ausgehenden Quellenstrahls (9; 51) eine im Vergleich zu den Bereichsabständen kurze Kohärenzlänge hat, die Strahlung wenigstens in zwei unterschiedliche Polarisationsrichtungen aufspaltbar ist und die Umwegeinheit (29; 70; 163) wenigstens zwei Strahlteiler (31, 32; 164, 165) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten

Messstrahl eine andere Polarisierung aufweisende Messstrahl über den Umweg (43) führbar ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (83a, 83b) der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung derart ausgebildet ist, dass die Strahlung wenigstens zwei unterschiedliche Strahlungszentrumswellenlängen hat und die Umwegeinheit wenigstens zwei wellenlängen-selektive Strahlteiler (93, 100) hat, mit denen der zweite, gegenüber dem ersten Messstrahl eine andere Strahlungsfrequenz aufweisende Messstrahl über den Umweg (93-94b-97b-99-101) führbar ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 120) die geometrisch-optische Länge des Umwegs durch eine Abstandsverstellung eines Umlenkspiegels (36; 99) gegenüber einem der Strahlteiler (32; 100) veränderbar ist und insbesondere der Strahlteiler (32; 100) und jeder diesem zugeordnete Umlenkspiegel (36; 99) derart zueinander ausgerichtet sind, dass jeder umgelenkte Messstrahl mit dem nicht umgelenkten eine einzige optische Achse (40, 102) im Gegenstand (5; 75; 109; 121) hat sowie wahlweise je eine Fokussiereinheit (33, 34; 67, 72, 77, 78; 97a, 97b) für jeden Messstrahl, um diesen auf je einen Bereich (37, 39; 79, 81; 107, 108) fokussieren zu können.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine Speichereinheit (143), in der Weglängen der Weglängenvariationseinheit abspeicherbar sind, bei denen eine Interferenz der ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messstrahlung abspeicherbar sind, um einen Dickenwert bei vorzugsweise annähernd auf einer Achse fokussierten ersten und zweiten Messstrahlen zu ermitteln bzw. wahlweise ein Oberflächenprofil bei seitlich benachbart liegenden ersten und zweiten Strahlen zu ermitteln.

10. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Dicken- und/oder Abstandsmessung von in einem transparenten und/oder diffusiven, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147) vorhandenen optischen Bereichen (37, 39; 79, 81; 115) unterschiedlicher optischer Eigenschaften, wie beispielsweise Brechungsindexübergängen, wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf die zu erwartende, zu messende Abmessung eingestellt wird und die mit der Weglängenvariationseinheit (17; 65, 66; 161) variierbare Weglänge mindestens der Toleranz entspricht.
11. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zur Profilbestimmung von einem Strahlung reflektierenden, bevorzugt örtlich schwer fixierbaren Gegenstand (5; 75; 109; 121; 147), wobei der Umweg in der Umwegeinheit (29; 70; 95; 118; 120; 163) bis auf eine Bestimmungstoleranz auf den zu erwartenden und zu messenden Abstand vorzugsweise von einem Referenzort eingestellt und abgespeichert wird und mit einem vorgängig ermittelten, einen seitlichen Distanzwert aufweisenden Abstandswert zur Profilermittlung verknüpft wird.
12. Verwendung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gegenstand das menschliche Auge (75; 121; 147) ist.

1/7

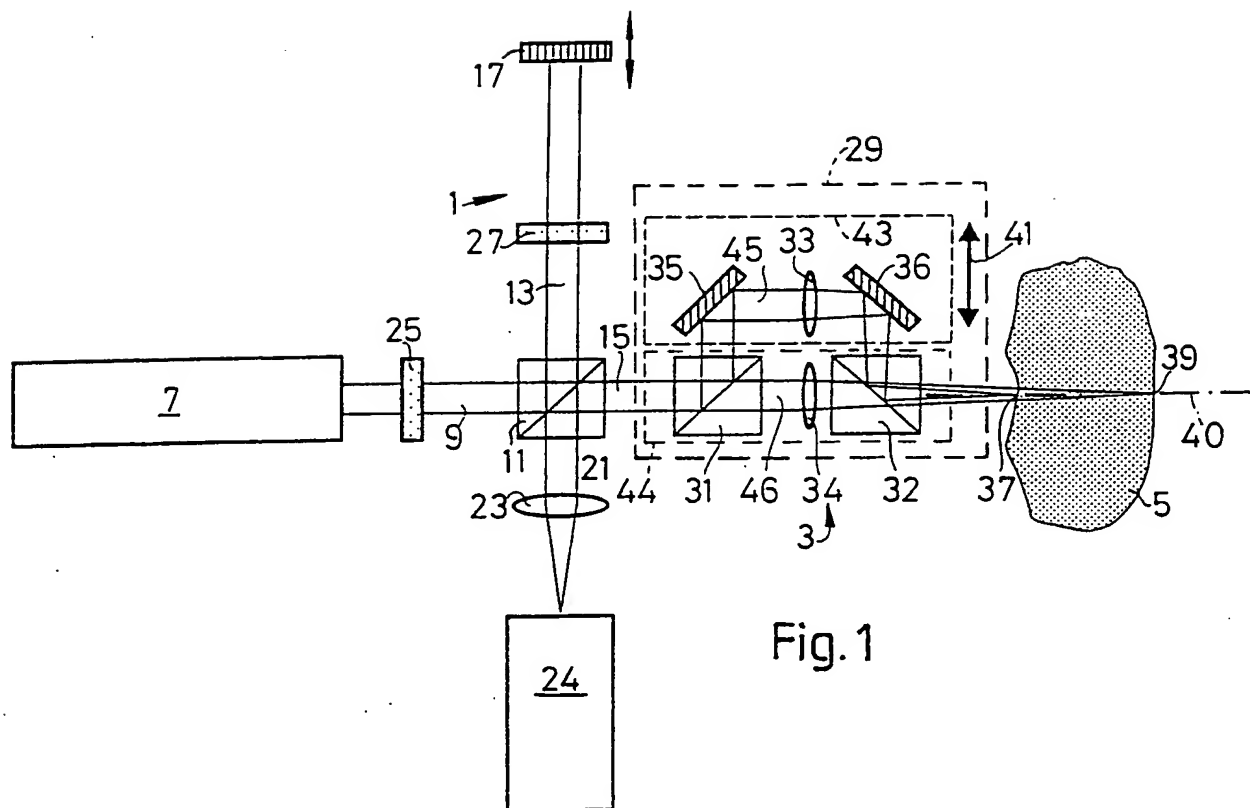
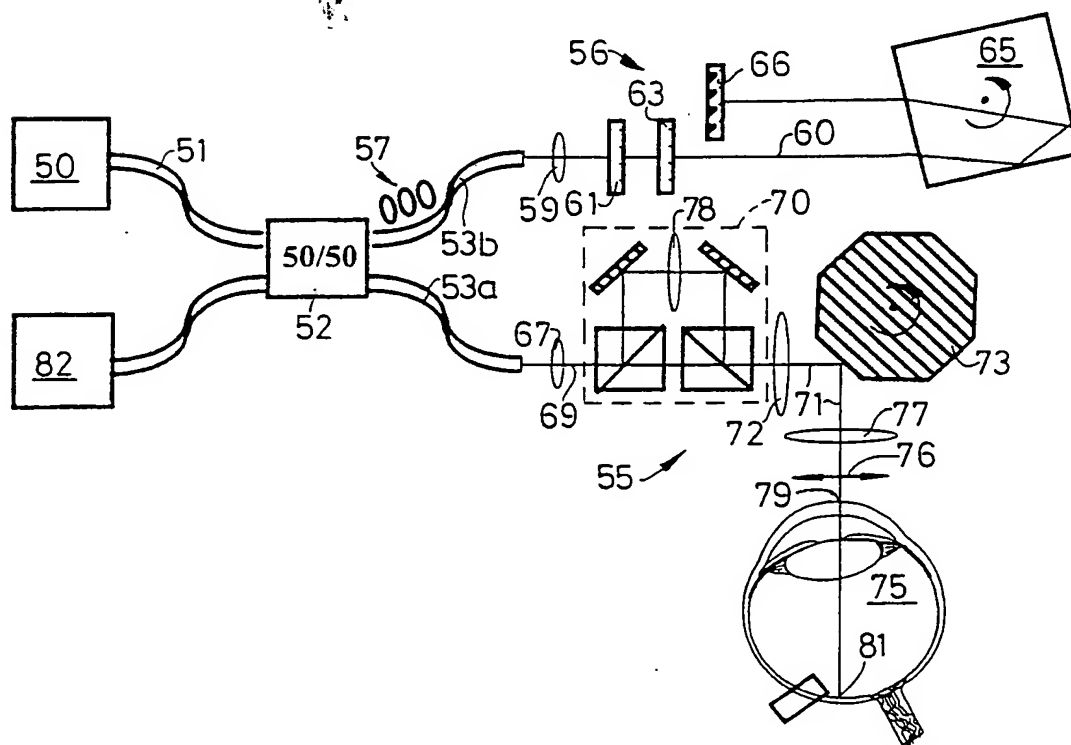


Fig. 2



2/7

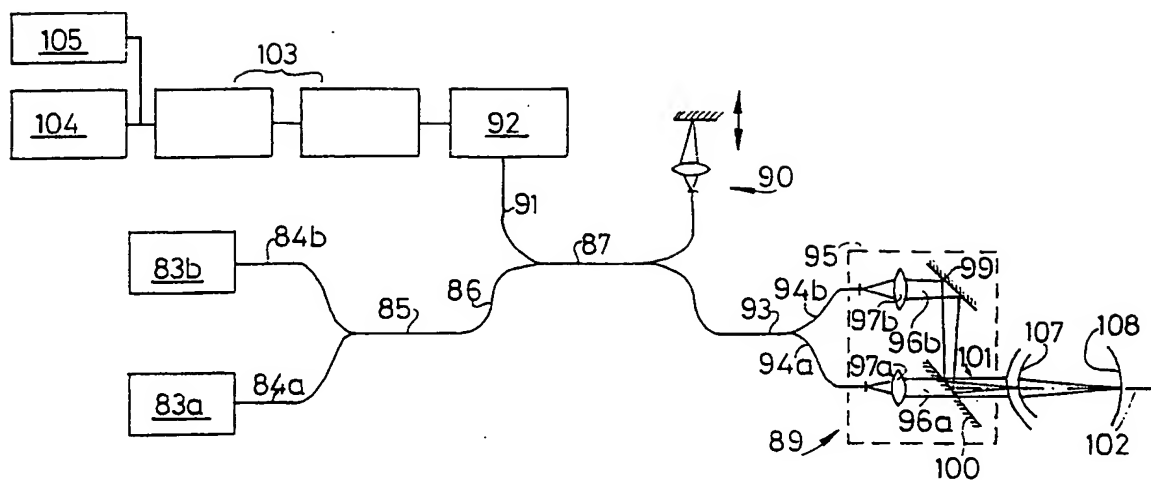


Fig. 3

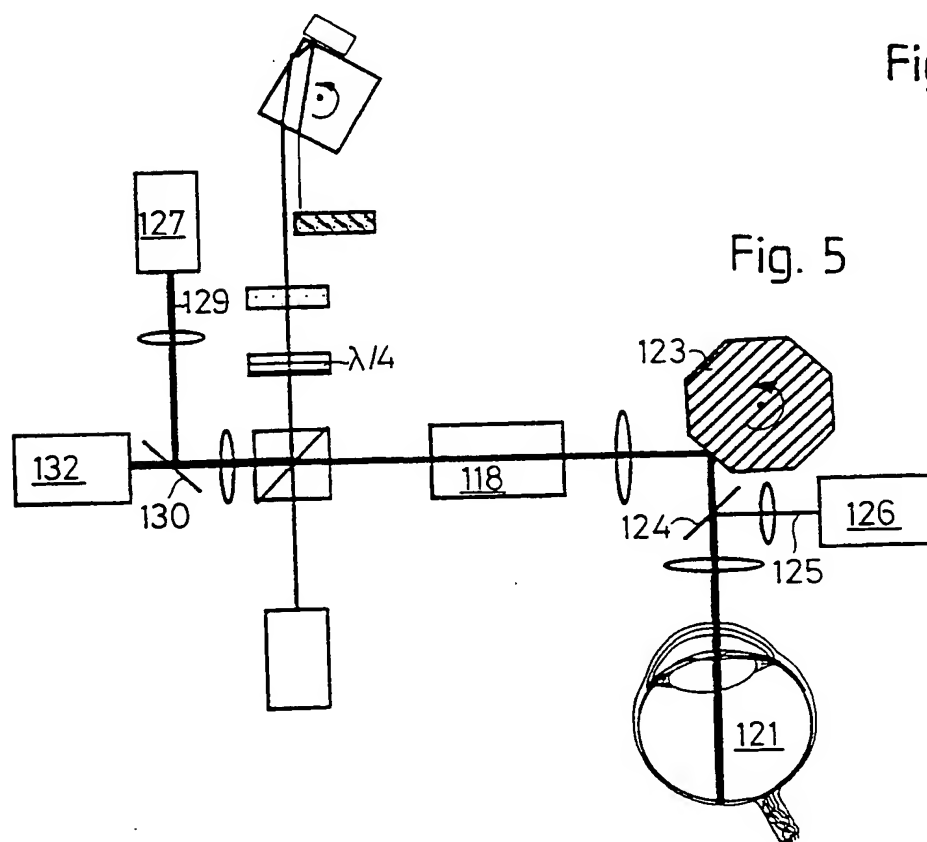


Fig. 5

3/7

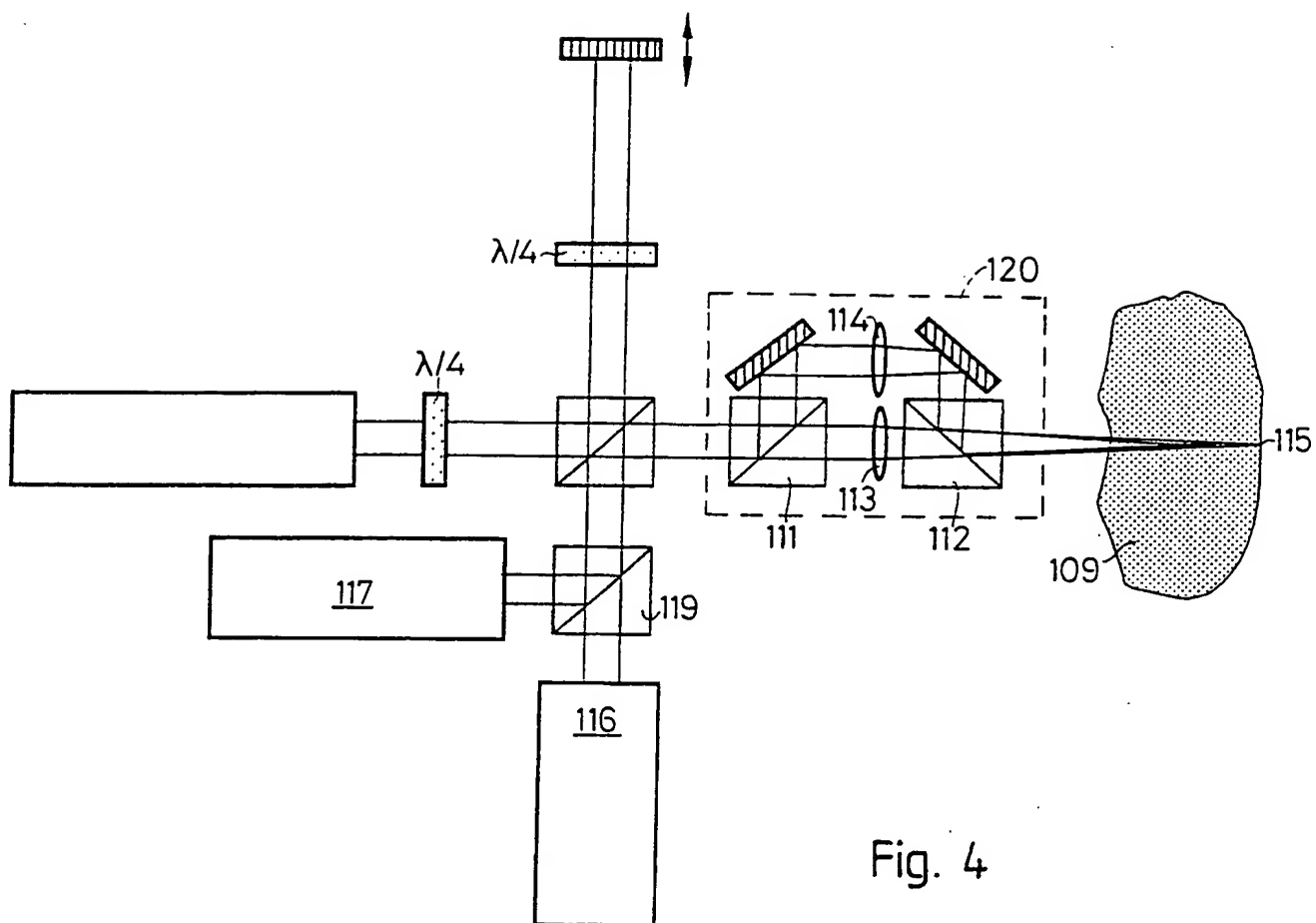
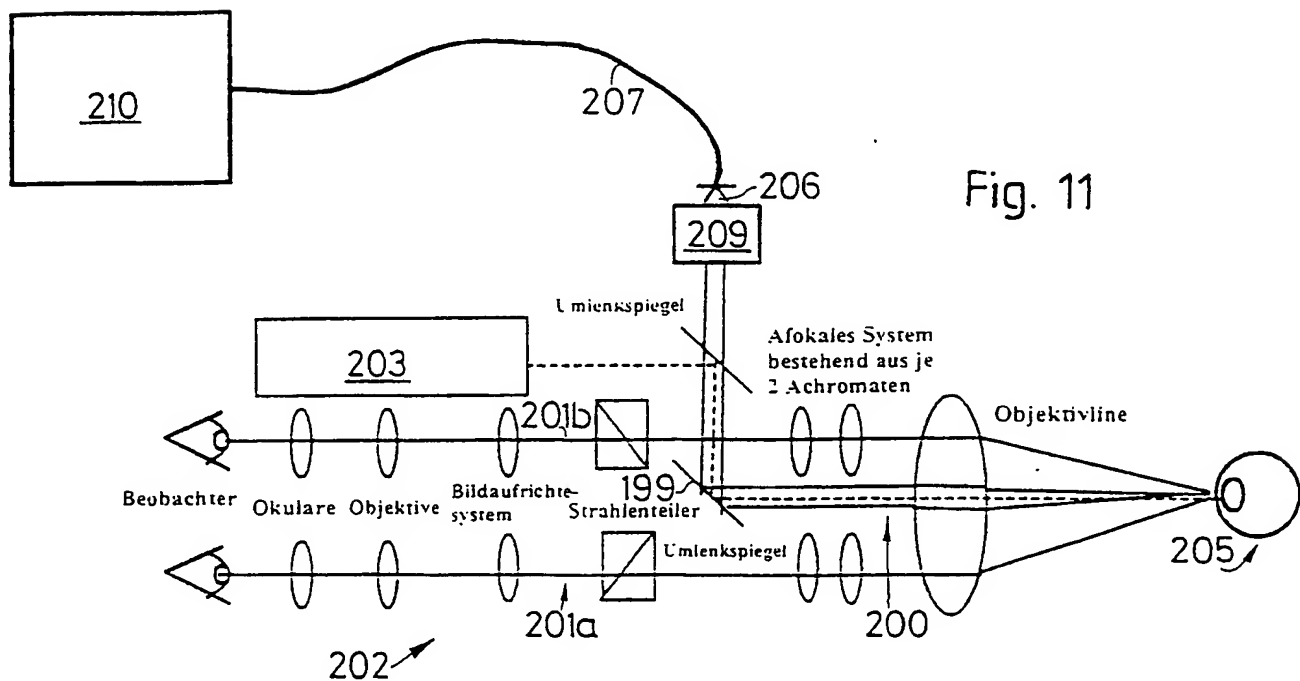
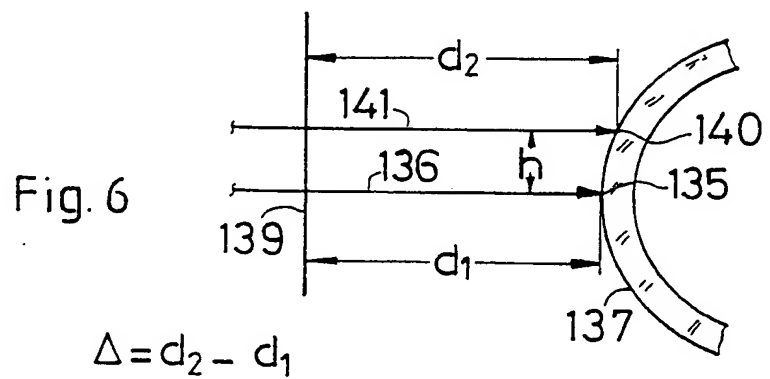
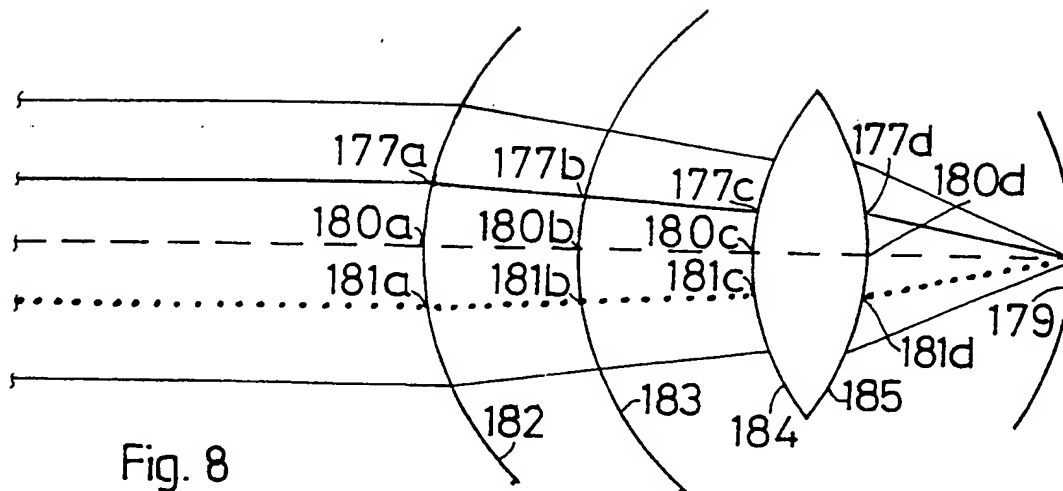


Fig. 4

4/7



5/7

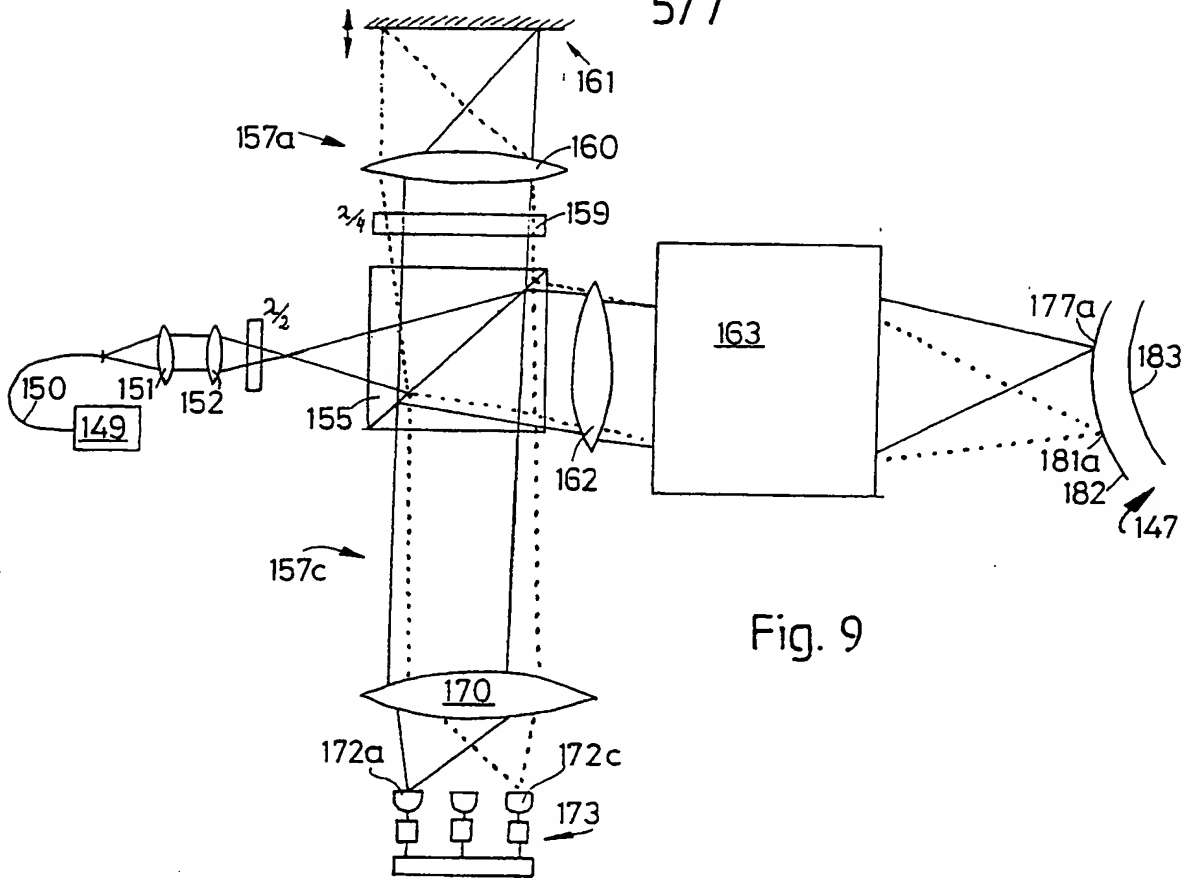
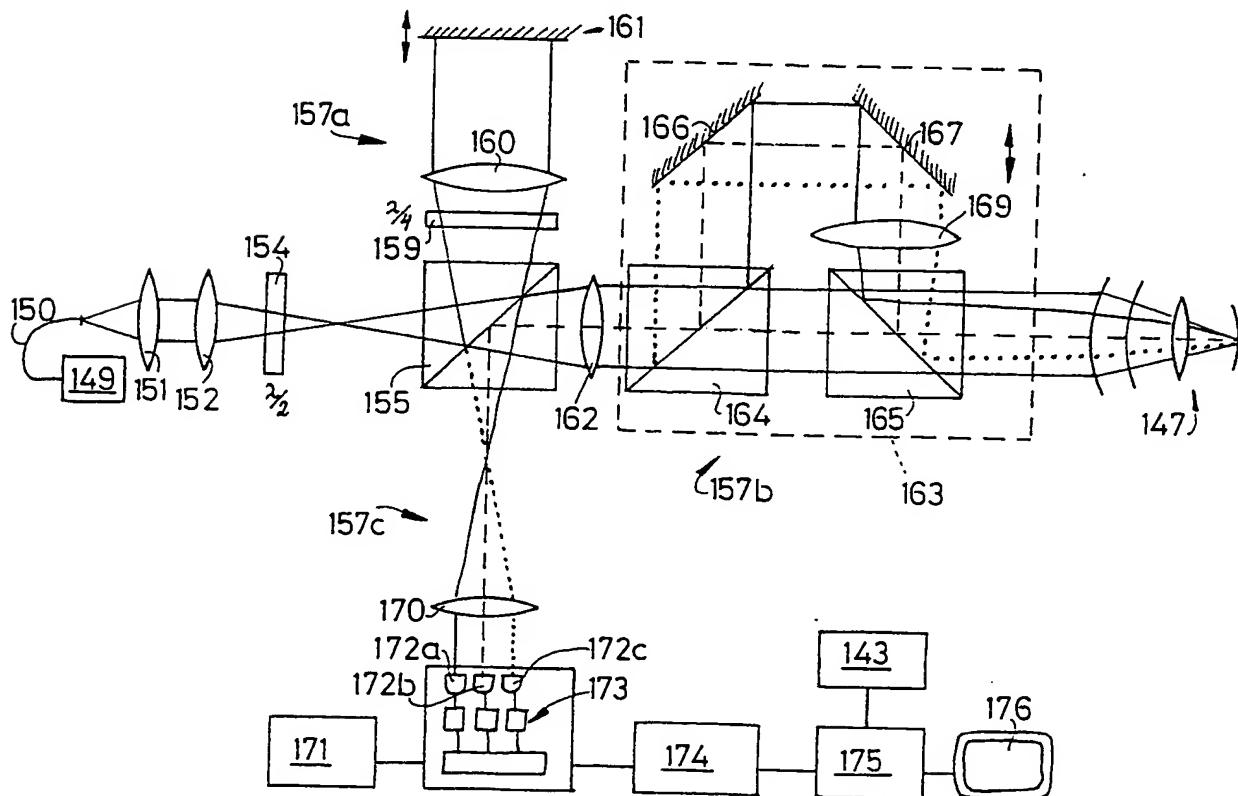


Fig. 9

Fig. 7



6/7

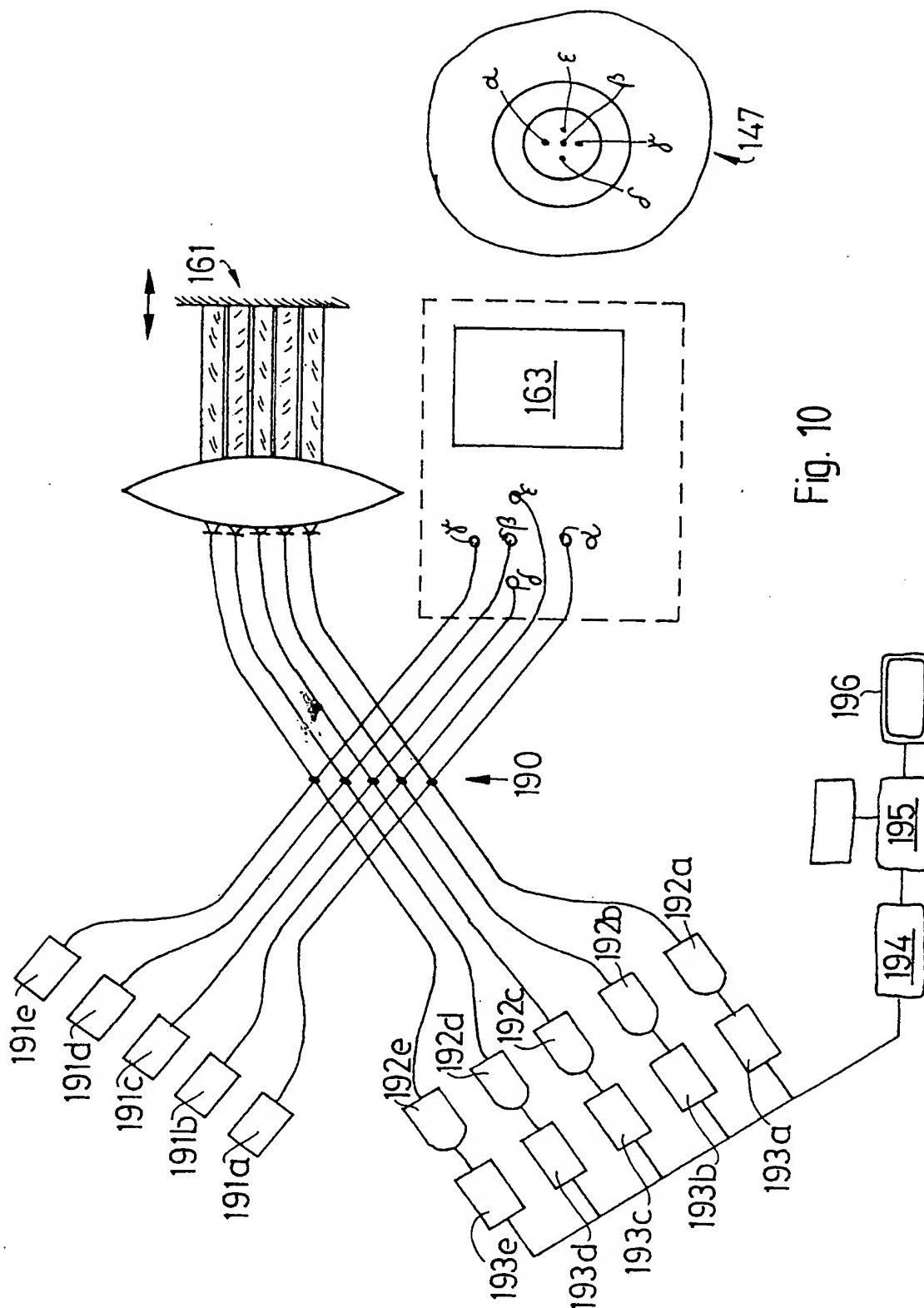


Fig. 10

7/7

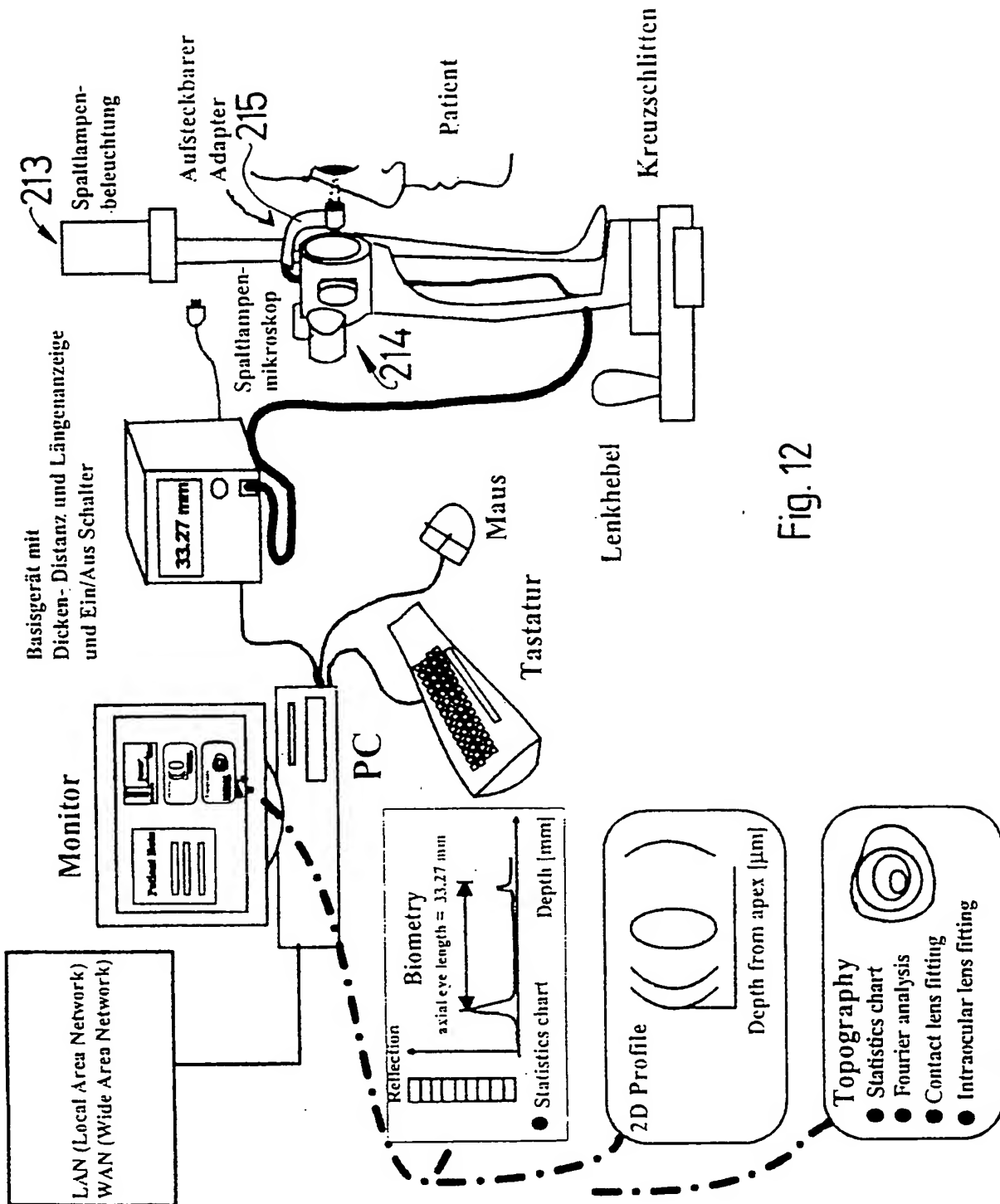


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 00/00634

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01B9/02 G01B11/06 G01N21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7 November 1996 (1996-11-07) cited in the application abstract; figure 1 ---	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28 July 1999 (1999-07-28) abstract; figure 2 ---	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13 September 1995 (1995-09-13) abstract; figure 1 -----	1,5,10

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 February 2001

Date of mailing of the international search report

26/02/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/CH 00/00634

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9635100	A	07-11-1996	EP 0877913 A US 6144456 A	18-11-1998 07-11-2000
EP 0932021	A	28-07-1999	NONE	
EP 0671601	A	13-09-1995	US 5523839 A JP 7280539 A	04-06-1996 27-10-1995

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01B9/02 G01B11/06 G01N21/45

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7. November 1996 (1996-11-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1	1,5,10
A	EP 0 932 021 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 28. Juli 1999 (1999-07-28) Zusammenfassung; Abbildung 2	1,5,10
A	EP 0 671 601 A (MINNESOTA MINING & MFG) 13. September 1995 (1995-09-13) Zusammenfassung; Abbildung 1	1,5,10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Februar 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/02/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 00/00634

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9635100	A	07-11-1996	EP	0877913 A	18-11-1998
			US	6144456 A	07-11-2000
<hr/>					
EP 0932021	A	28-07-1999	KEINE		
<hr/>					
EP 0671601	A	13-09-1995	US	5523839 A	04-06-1996
			JP	7280539 A	27-10-1995
<hr/>					